EPIQUE 2023 **PARIS-Ecole du Val de Grâce**

Actes du colloque
Paris, 5-7 Juillet 2023

Sous l'égide de :

ARPEGE

http://arpege-recherche.org/

12ème Colloque de Psychologie Ergonomique

EPIQUE 2023

Paris, France, 5-7 Juillet 2023

Actes du colloque

ARPEGE SCIENCE PUBLISHING

Conservatoire national des arts et métiers, 47 rue Gay Lussac, 75005 Paris, France

Copyright © 2023 Arpege Science Publishing

ISBN : 979-10-92329-06-3

EAN : 9791092329063

Présidence

Pr. Françoise DARSES (Institut de recherche biomédicale des armées), Co-Présidente d'EPIQUE 2023

&

Jean-Marie BURKHARDT (Université Gustave Eiffel), Président d'Arpège et Co-Président d'EPIQUE 2023

Comité d'organisation

Communications

Léonore BOURGEON

Sami MECHERI

Justin PLANTIER

Symposium

Julie ALBENTOSA

Pr. Françoise DARSES

Communications affichées (posters)

Nicolas MAVROMATIS

Alexis REMIGEREAU

Justin PLANTIER

Comité d'organisation locale

Julie ALBENTOSA (présidente)

Léonore BOURGEON

Benjamin COULOMB

Mélissa GRIMAUD

Nicolas MAVROMATIS

Sami MECHERI

Damien MORISSON

Justin PLANTIER

Clarisse PRESCHOUX

Arnaud RABAT

Alexis REMIGEREAU

Anthony VACHER

Aurélie VARGA-BALOG

Renforts

Brigitte CARNIER

Didier DESLAIS

Yousra DKHISSATE

Clara LAHAINE

Agathe LECOESTER

Lilian NGUYEN

Marie PERRY

Anaïs LOISEAU

Lisa BEVILACQUA

Comité de programme

ADELÉ Sonia, Université Gustave Eiffel

ANCEAUX Françoise, Université Polytechnique des Hauts de France

BARCELLINI Flore, CNAM

BASTIEN Christian, Université de Lorraine

BOBILLIER Marc-Eric, CNAM

BOCCARA Vincent, Université Paris Saclay, LISN

BONNARDEL Nathalie, Aix-Marseille Université

BOUCHEIX Jean-Michel, Université de Bourgogne

BOUDRA Leïla, AP-HP

BOURGEON Léonore, Institut de recherche biomédicale des armées

BOURMAUD Gaëtan, Université Paris 8

BRANGIER Eric, Université de Lorraine

CAHOUR Beatrice, Télécom Paris

CAUSSE Mickael, ISAE

CEGARRA Julien, INU Champollion

CERF Marianne, AgroParisTech - INRAE

CHAUVIN Christine, Université de Bretagne-Sud

CHEVALIER Aline, Université Toulouse II Jean-Jaurès

COUTAREL Fabien, Université Clermont Auvergne

FORRIERRE Justine, Université de Lille

GABAUDE Catherine, Université Gustave Eiffel

GAILLARD Irène, IPST-CNAM

GARRIGOU Alain, Université de Bordeaux

GRONIER Guillaume, Luxembourg Institute of Science and Technology (LU)

GRUSENMEYER Corinne, INRS

GUÉRIN Clément, Université Bretagne-Sud

LECLERCQ Pierre, Université de Liège (BE)

LOUP-ESCANDE Emilie, Université de Picardie Jules Verne

MACQUET Anne-Claire, INSEP

MARCHAND Anne-Lise, Ecole de l'air et de l'espace

MARS Franck, Laboratoire des Sciences Numérique de Nantes

MECHERI Sami, Institut de recherche biomédicale des armées

NAVARRO Jordan, Université Lumière Lyon 2

PELAYO Sylvia, Université de Lille

PELLEGRIN-CHAUDET Liliane, Aix-Marseille Université

PLANTIER Justin, Institut de recherche biomédicale des armées

POIZAT Germain, Université de Genève (CH)

PROST Magali, Université de Bretagne Occidentale

ROBERT Jean-Marc, Polytechnique Montréal (CAN)

SAFIN Stéphane, Télécom Paris

SAGOT Jean-Claude, Université de Technologie de Belfort Montbéliard

SALEMBIER Pascal, Université de Technologie de Troyes

VACHER Anthony, Institut de recherche biomédicale des armées

VAN DE LEEMPUT Cécile, Université Libre de Bruxelles (BE)

VAN DE WEERDT Corinne, INRS

TABLE DES MATIERES

CONFERENCES INVITEES **19**

Facteurs Humains en médecine d'urgence et médecine de guerre : enjeux et perspectives 20

Stéphane TRAVERS

Some proposals for adressing challenges for socio-technical integration of AI 21

Gudela GROTE

Interagir avec des environnements réels ou virtuels par l'activité cérébrale : promesses, fantasmes et réalité 22

Fabien LOTTE

SYMPOSIA **23**

SYMPOSIUM #103 : LE TRAVAIL EN EQUIPES HUMAINS-MACHINES **24**

Intégration Humains Systèmes : les questions sociotechniques contemporaines liées à la digitalisation, l'autonomie et au partage d'autorité 24

Guy BOY

Evaluation de la performance, de la collaboration et de la confiance au sein d'une équipe pilote-assistant virtuel dans un cockpit d'un avion de combat simulé 30

Chloé MOREL

Véhicules automatisés dans le trafic - systèmes réglés et systèmes gérés 35

Jean-Baptiste HAUE

SYMPOSIUM #101 : CORPS AU TRAVAIL ET ENJEUX DE DURABILITE 39

Corps au travail et enjeux de durabilité : apports conceptuels et méthodologiques 39

Cyril BOSSARD, Adeline MASSON, Chloé LE BAIL & Magali PROST

Proposition d'un dispositif pour accompagner un collectif d'enseignants chercheurs en sciences du sport à se saisir des enjeux du développement durable 43

Chloé LE BAIL, Magali PROST & Marie CHIZALLET

Conception d'un urinoir pour femmes : enjeu et défis méthodologiques pour accéder à des données du registre de l'intime 49

Gaétan BOURMAUD & Magali PROST

Questionner la durabilité des systèmes par une approche multi-niveaux : illustration dans la promotion de l'activité physique 55

Steven LE PAPE, Thibault KERIVEL & Marjorie BERNIER

Le corps en mouvement pour transformer le travail 60

Christelle CASSE & Adeline MASSON

Développer les compétences émotionnelles des athlètes pour améliorer la durabilité de la carrière sportive professionnelle 65

Sylvain DUGENY, Cyril BOSSARD, Philippe VACHER & Gilles KERMARREC

SYMPOSIUM #105 : COLLABORATION HUMAIN/IA EN AERONAUTIQUE 70

Quelles approches pour développer la collaboration Human/IA (HUman Autonomy Teaming) dans le domaine aéronautique ? 70

Julien DONNOT & Nicolas MAVROMATIS

Cognition humaine et interaction homme-autonomie : le rôle de l'agentivité 73

Marine PAGLIARI, Bruno LE BAIL, Magali PROST & Marie CHIZALLET

Human-Autonomy Teaming : mieux prendre en compte l'état de l'opérateur humain, pour mieux adapter la coopération humain-machine 78

Philippe RAUFFET

Comment l'utilisation du métasolveur COMBI transforme l'activité de planification et d'anticipation du pilote de chasse ? 83

Julien DONNOT & Jaime DIAZ PINEDA

SYMPOSIUM #102 : FATIGUE MENTALE **88**

Pour une meilleure prise en compte de la fatigue mentale et de ses effets comportementaux : concept théorique et implications 88

Philippe CABON & Arnaud RABAT

La fatigue mentale : un problème de définition 91

Roxanne BUREAU & Laure LEGER & Fabien FENNOUILLET

Charge mentale de travail et fatigue mentale : étude d'une relation non linéaire 95

Edith GALY

Etude et caractérisation de la fatigue mentale et de la flexibvilité cognitive dans le contexte des opérations drone longue endurance 89

Marcel HINSS, Anke M. BROCK & Raphaëlle ROY

Gestion des risques associés à la fatigue en milieu professionnel 94

Philippe CABON

SYMPOSIUM #104 : CONCEVOIR LES USAGES DU FUTUR POUR LES VEHICULES AUTONOMES ET LA MOBILITE URBAINE **109**

Concevoir les usages du futur – Approches de conception basée sur les modèles appliqués aux véhicules autonomes et aux systèmes de mobilité urbaine 109

Bernard YANNOU, Flore VALLET & Vincent BOCCARA

Innover par les usages sur un périmètre d'activité : la méthodologie Radical Innovation Design illustrée par son jeu sérieux sur l'innovation de la mobilité sur le Grand Paris 115

Bernard YANNOU, Flore VALLET 1 François CLUZEL

Comment concevoir des systèmes de mobilité urbaine pour les citadins du futur ? 120

Tjark GALL, Flore VALLET & Bernard YANNOU

Représenter l'expérience des usagers dans le processus de conception d'un habitacle de véhicule pour mieux spécifier, concevoir et évaluer l'UX 125

Benoît DABOUIS, Vinent BOCCARA & Bernard YANNOU

La méthode Representation-Usage-Impact pour mieux caractériser les impacts sociaux des véhicules autonomes 130

Benoît DABOUIS, Vinent BOCCARA & Bernard YANNOU

Comment simuler en tout-automatique la sécurité des véhicules autonomes (VA) alors qu'il est impossible de faire l'apprentissage des situations accidentogènes des VAs ?

134

Zhenguo CUI, Bernard YANNOU, Adam ABDIN & Svetalana DICHEVA

SYMPOSIUM #106 : VALIDITE DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS 139

Les dispositifs de réalité virtuelle sont-ils valides opour l'étude du comportement humain ? 139

Régis LOBJOIS & Sami MECHERI

Évaluation des dispositifs de réalité virtuelle : Panorama des concepts, enjeux et méthodes 142

Régis LOBJOIS & Sami MECHERI

Réponse Réaliste en Réalité Virtuelle 147

Alexis PALJIC

Quelle adaptation aux contraintes spatiales en environnement virtuel ? Une étude basée sur le paradigme du franchissement d'ouverture 151

Sami MECHERI & Régis LOBJOIS

Réalité virtuelle et présence : Quels impacts pour l'utilisateur ? 155

Isabelle MILLEVILLE-PENNELl

Mesurer le sentiment d'incarnation d'un utilisateur envers son avatar en Réalité Virtuelle : Limitations et nouvelles méthodes 160

Rebecca FRIBOURG

COMMUNICATIONS ORALES 165

SESSION M1 : GESTION DES RISQUES EN MILIEU MILITAIRE 166

CL : Exploration de l'expérience vécue pour l'analyse d'événements aériens graves : le cas des enquêtes de sécurité pour l'aéronautique d'État. 167

Damien MORISSON, Anthony VACHER, Léonore BOURGEON, Mandy LAMBERT & Vincent BOCCARA

CL : Pratiques actuelles et perspectives d'évolution des formations au Crew Resource Management dans les armées : le cas de la formation RAF-AERO 176

Solange DUVILLARD-MONTERNIER, Solenn LACHEZE., Clara LAHAINE, Walter RICCARDI & Anthony VACHER

CL : Accidents d'hélicoptère militaire et étatique : une analyse des Facteurs Organisationnels et Humains. 185

Léonore BOURGEON, Mandy LAMBERT, Damien MORISSON, Sami MECHERI & Anthony VACHER

SESSION M2 : ACTIVITE AVEC DES EXOSQUELETTES 194

CL : Sapeurs-pompiers et désincarcération : effet du port d'un exosquelette sur la charge cognitive et l'acceptation. 195

Sophie LEMONNIER, Laura CAVAGNAC, Nathan KOHILI, Kévin BOUILLET, Pauline MAURICE & Guillaume MORNIEUX

CC : Le couplage mécanique bras-exosquelette dans l'extéroception humaine ? 204

Dorine ARCANGELI, Océane DUBOIS, Gabriel ARNOLD, Sylvain FAMIE, Giovanni DE MARCO, Agnès ROBY-BRAMI, Nathanaël JARASSE & Ross PARRY

CC : Les exosquelettes de rééducation : facteurs influençant leur utilisation, avantages et limites perçus en rééducation clinique 209

Nawel OUENDI, Rémy HUBAUT., Sylvia PELAYO, Françoise ANCEAUX, Eugénie AVRIL, & Laura WALLARD

SESSION M3 : ENVIRONNEMENTS DE SIMULATION 214

CL : Simuler pour prospecter l'activité future de supervision du trafic routier. 215
Emma CIPPELLETTI, Sonia ADELE., Corinne DIONISIO & Marc Eric BOBILLIER CHAUMON

Sophie LEMONNIER, Laura CAVAGNAC, Nathan KOHILI, Kévin BOUILLET, Pauline MAURICE & Guillaume MORNIEUX

CL : Validation des tâches expérimentales d'un environnement multitâche simulé pour le chef de groupe débarqué. 224

Alexis REMIGEREAU, Françoise DARSES, Baptiste DOZIAS & Julie ALBENTOSA

CL : Analyse de la tâche pour la conception d'un simulateur virtuel pour l'anesthésie locorégionale échoguidée. 233

Casssandre SIMON, Elsa BROCAS, Samir OTMANE & Amine CHELLALI

CL : Vers une approche comportementale de distinction des phases d'apprentissage procédural : le cas d'une procédure d'assemblage en environnement virtuel. 242

Anais RAISON, Nathalie LE BIGOT, Olivier AUGEREAU & Franck GANIER

SESSION M4 : ACTIVITE DES VEHICULES AUTONOMES 251

CL : Conduire parmi des véhicules autonomes : effet de la confiance initiale sur le comportement de conduite. 252

Julien CEGARRA, Hélène UNREIN, Jean-Marc ANDRE & Jordan NAVARRO

CL : Interface multimodale et conduite automatisée : étude exploratoire sur les transitions entre niveaux d'automatisation. 260

Sabine LANGLOIS, Noé MONSAINGEON, Virgil ROUSSEAUX & Jean-Marc TISSOT

CL : Le sentiment d'insécurité dans les transports partagés autonomes : revue de questions. 269

Marion GENTILETTI & Béatrice CAHOUR

CL : Objectivation des situations de risque perçu pour concevoir un copilote-coach de conduite. 277

Sabine LANGLOIS, Arnaud KOUSTANAI, Clara GANDREZ, Jean-Guillaume MEYRIGNAC, Henri CHAJNOWICZ, Jean-Baptiste HAUE & Gérard HERNJA

CC : Effet d'une phase de familiarisation sur les mesures subjectives dans une simulation de véhicule autonome en réalité virtuelle. 286

Gabriel NATIVEL-FONTAINE, Véronique LESPINET-NAJIB, Mathieu CHEVRIE, François AIOUN & Luciano OJEDA

SESSION J1 : UX ET ACCEPTABILITE 291

CL : Méta-analyse de l'acceptation exprimée sur les drones. 292

David ROBIN, Mario Andres HERNANDEZ LOPEZOMOZA & Philip LOUCOPOULOS

CL : Expérience motivationnelle durant un serious game : analyse dynamique en lien avec le flow et les émotions. 301

Tristan GUARNIERI., Fabien FENOUILLET, Christine LEBRETON & Stéphanie STANKOVIC.

CC : Acceptabilité du FALC en école élémentaire française : Apport du Modèle UTAUT-2. 310

Floriane BALSSA. & Véronique LESPINET-NAJIB

CC : Acceptabilité d'un dispositif médical connecté : une étude préliminaire réalisée auprès d'étudiants en soins infirmiers. 315

Daphné LELEU & Emilie LOUP-ESCANDE

SESSION J2 : GESTION DES RISQUES 319

CL : Gestion de la crise Covid-19 : Analyse des liens entre les processus de résilience et de créativité mis en œuvre par les professionnels de santé ? 320

Liliane CHASSERY, Hugo MARTHINET & Liliane PELLEGRIN

CL : Proposition d'un modèle de la navigation en transports en commun dédié à l'analyse des erreurs humaines : une revue de la littérature. 329

Sarah BELOUACHI & Emilie LOUP-ESCANDE

CC : La sécurité en laboratoire de biologie. Un exercice entre risques et sécurité. 338

William SUAREZ, Vanina MOLLO, Aude VILLEMAIN & Adelaïde NASCIMENTO

SESSION J3 : ERGONOMIE DE CONCEPTION 343

CL : L'ergonomie de conception prend-elle suffisamment en compte les interactions multi-utilisateurs ? 344

Noémie CHANIAUD & Sylvain FLEURY

CL : Interactions de conception avec des technologies intelligentes : le potentiel de stimuler le raisonnement analogique en architecture. 352

Gaëlle BAUDOUX & Pierre LECLERCQ

CL : Anticiper les transformations possibles de l'activité par le Design-Fiction et l'Ergonomie Prospective : la simulation (science) fictionnelle de l'activité future. 360

Cynthia BAGOUSSE, Thomas ARCISZIEWSKI, Grégory LO MONACO & Nathalie BONNARDEL

CC : Analyse du domaine de travail et analyse ergonomique de l'activité pour évaluer différentes propositions de conception : application à la définition d'une cabine de conduite ferroviaire. 369

Cécile-I BERNARD & Christopher PAGLIA

SESSION J4 : OUTILS MULTIMEDIA : RECHERCHE D'INFORMATION ET APPRENTISSAGE 373

CL : Autres questions posées » dans Google : Rôle des connaissances antérieures du domaine et du type de tâche sur les stratégies de traitement des utilisateurs. 374

Cheyenne DOSSO, Aline CHEVALIER, Lynda TAMINE, Pierre-Vincent PAUBEL & Ladislao SALMERON

CL : Patients atteints de mélanomes cutanés avancés bénéficiant de traitements innovants : pourquoi et comment recherchent-ils des informations ? 383

Aline CHEVALIER, Agathe LABORDE, Nicolas MEYER, Vincent SIBAUD, Cécile PAGES-LAURENT, Marion MARCAILLOU, Cheyenne DOSSO, Marie BEYLOT BARRY & Bruno QUINTARD

CC : Application de Mobilité-en-tant-que-Service (MaaS) et gamification : influence de la quête sur le choix du mode de transport. 393

Eugénie AVRIL, Céline LEMERCIER, Amaël ARGUEL & Loïc CAROUX

CC : Les théories implicites de l'intelligence sous la loupe des mesures physiologiques dans l'apprentissage multimédia. 397

Mariyem AHMIDA & Laure Léger

CC : La méditation : une aide aux apprentissages multimédias ? 402

Laure Léger, Madeline BAUDOUIN, Elyssa DANIELOU & Emmanuel SCHNEIDER

SESSION J5 : COOPERATION HUMAIN-MACHINE 406

CL : Utilisation dynamique de la transparence pour la coopération humain-machine. 407

Loïck SIMON, Clément GUERIN & Philippe RAUFFET

CL : Confiance en l'autre : approche expérimentale de l'arbitrage entre le partenaire humain et le partenaire automatisé. 416

Pauline MUNOZ, Anne-Lise MARCHAND, Laurent CHAUDRON & Nicolas MAILLE

CL : Construction d'un Questionnaire d'auto-Évaluation de la Performance de la Collaboration entre un opérateur et un système autonome (QEPC) : étude préliminaire. 424

Théodore LETOUZE, Hélène UNREIN & Alexis BOFFET

CC : Le Cognitive Warfare : contexte, concept et enjeux. 434

Marie MORELLE, Damien MARION, Julien CEGARRA & Jean-Marc ANDRE

CC : Quels outils pour supporter la coopération dans les futurs systèmes de combat aériens ? 439

Vincent TARDAN, Yurick CURTIN, Julien DONNOT & Jérôme RANC

SESSION J6 : ACTIVITE PERCEPTIVO-COGNITIVE EN SITUATION COMPLEXE 444

CL : L'impact de la latence en situation de téléconduite d'un train de marchandises. . 445

Emelyne MICHEL & Christopher PAGLIA

CL : Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique. 454

Jean Christophe HURAULT, Grégory FROGER, Colin BLATTLER, Anne-Lise MARCHAND & Nathalie BONNARDEL

CL : Rôle de l'état auditif dans l'amélioration de l'intelligibilité et de l'effort d'écoute apportée par la spatialisation sonore en situation multilocuteurs. 463

CC : Effets de l'expertise dans la détection et l'analyse de défauts dans le domaine de la maintenance de matériel industriel complexe issu d'un secteur à risque. 472

Marius GOUTHERAUD, Jean Michel BOUCHEIX, Véronique DRAI-ZERBIB., Alessandro CARLINI, Manon ANSART, Stéphane ARGON & Michel PAINDAVOINE

CC : Eye-Interaction : Une étude multimodale de l'incapacitation cognitive chez les pilotes de ligne. 477

Jonathan DENIEL, Maud DUPUY, Alexandre DUCHEVET, Nadine MATTON, Jean-Paul IMBERT & Mickaël CAUSSE

SESSION V1 : SANTE AU TRAVAIL 482

CL : Equipes autonomes et RPS : l'apport de la psycho-ergonomie pour la prévention.

483

Corinne VAN DE WEERDT & Raphaël HALLER

CL : L'autonomisation des équipes de travail dans l'aide à domicile : enjeux psychosociaux d'une transformation de l'organisation. 492

Raphaël HALLER Corinne & VAN DE WEERDT

CC : Coping et gestion de la douleur aigüe post-blessure en sport de haut niveau. 501

Anne Claire MACQUET, Raphaël BONNET & Marion TROUSSELARD

CC : Les outils numériques en santé au travail, freins ou leviers de construction des dynamiques pluridisciplinaires ? 506

Cédric GOUVENELLE, Flora MAUDHURY & Florence THORIN

CC : Cybersécurité : Étude exploratoire des pratiques de gestion de mails en France.

512

Julien DEGHAYE, BESANCON, Liliane PELLEGRIN & Marie-Hélène FERRER

COMMUNICATIONS AFFICHEES 517

P1 : Intégration d'une démarche d'ergonomie prospective dans la conception d'un centre de supervision d'une flotte de véhicules &autonomes. 518

Corinne SCOLIEGE, Jessy BARRE & Philippe CABON

P2 : Analyser la première impression d'un site web par la mesure des parcours oculométriques (eyetracking). 522

Alexis PORTEVIN & Guillaume GRONIER

P3 : Vers des environnements capacitants pour la cybersécurité : Proposition d'un cadre de recherche adapté. 527

Ayoub BOURHIM, Laurent GUILLET, Julie LASSALLE & Christine PETR

P4 : Un modèle descriptif de la confiance en tant que composante invisible de l'ergonomie. 532

Laurent CHAUDRON, Lisa CHOUCHANE & Jean-Paul MIZZI

P5 : Relation entre le degré de ressemblance humaine et le sentiment d'étrangeté suscité par des robots. 537

Pierre THEROUANNE, Simon BARBARIN & David DAYLE

P6 : Les situations de conduite générant de l'anxiété/peur/appréhension selon le genre et l'âge. 540

Hugo BREARD, Jean-Marie BURKHARDT, Béatrice CAHOUR & Arnaud KOUSTANAI

P7 : Fournir un feedback lors de la conduite : L'importance du niveau de traitement de l'information. 546

Angèle PICCO, Arjan STUIVER, Joost DE WINTER & Dick DE WAARD

P8 : Détection du degré de fatigue mentale d'un visage par un évaluateur humain (Etude CLAVIF). 551

Anaïs LOISEAU, Alexandre LAMBERT, Assia SOUKANE, Véronique CHASTRES & Arnaud RABAT

P9 : Une recherche-action sur la reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise. 555

Clothilde ROSIER & Catherine GABAUDE

P10 : Facteurs cognitifs dans l'intégration de prothèses : Perspectives et développements. 559

Jean-Victor STEINLEIN, Marine TAFFOU & Frédérique DE VIGNEMONT

P11 : Les gestes professionnels non verbaux d'enseignants en situation de classe : fonctions et efficacité. 564

Madison DAVE, Laurie Anna DUBOIS, Marie BOCQUILLON & Agnès VAN DAELE

P12 : Complémentarité des approches psychosociales et incarnées dans la promotion du tri sélectif en lycées professionnels. 569

Théo GENOYER, Sacha COUESTE & Catherine GABAUDE

CONFERENCES INVITEES

Facteurs Humains en médecine d'urgence et médecine de guerre : enjeux et perspectives

Stéphane TRAVERS

Médecin en Chef, Chef du bureau de médecine d'urgence
de la Brigade des Sapeurs Pompiers de Paris (BSPP)
Professeur agrégé en médecine d'urgence de l'école du Val de Grâce
travers.stephane@gmail.com

BREVE BIOGRAPHIE

Stéphane Travers occupe actuellement les fonctions de médecin-chef de la brigade de sapeurs-pompiers de Paris. Spécialiste de la médecine d'urgence et du soutien des opérations militaires, il a servi au sein du 1er régiment parachutiste d'infanterie de Marine, de la brigade de sapeurs-pompiers de Paris, de l'antenne médicale assurant les STRATEVAC et de la chefferie du service de santé pour les forces spéciales. Il a participé à une quinzaine d'opérations extérieures dans les Balkans, en Afrique et Afghanistan notamment. Stéphane Travers est membre du conseil d'administration de la société française de médecine d'urgence et de la société française de médecine de catastrophe, référent national pour la médecine d'urgence et représentant de la France au sein de l'Emergency Medicine panel de l'OTAN. Il enseigne au Val de Grâce ainsi qu'au profit de plusieurs universités françaises.

RESUME DE LA CONFERENCE

Texte de retranscription de la conférence qui sera inséré dans une version « 2 » des actes.

Some proposals for addressing challenges for socio-technical integration of AI

Gudela GROTE

Professor of Work and Organizational Psychology

at the Department of Management, Technology and Economics

Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich

ggrote@ethz.ch

BRÈVE BIOGRAPHIE

Gudela Grote received her doctorate at the Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA. A special interest in her research are the increasing flexibility and virtuality of work and their consequences for the individual and organizational management of uncertainty, for instance in relation to teamwork and standardization in high-risk systems, effects of new technologies on work processes, and the management of the employment relationship. She has worked with companies such as the Swiss Railways and Swiss Re and is member of the Scientific Advisory Board of the German Federal Institute for Occupational Safety and Health. She is a Fellow of the Society for Industrial and Organizational Psychology and member of the Swiss National Research Council.

RESUME DE LA CONFERENCE

Texte de retranscription de la conférence qui sera inséré dans une version « 2 » des actes.

Interagir avec des environnements réels ou virtuels par l'activité cérébrale : promesses, fantasmes et réalité

Fabien LOTTE

Directeur de recherche (DR2) dans l'équipe POTIOC

Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LABRI) à

l'Institut Nationale de Recherche en sciences et technologies du numérique (INRIA)

Fabien.lotte@inria.fr

BREVE BIOGRAPHIE

Les recherches de Fabien Lotte portent sur l'étude, la conception et l'utilisation d'interfaces cerveau-ordinateur (ou BCI – Brain-Computer Interfaces). Fabien Lotte fait partie des comités éditoriaux de plusieurs journaux phares en BCI : Brain-Computer Interfaces, Journal of Neural Engineering, IEEE Transactions on Biomedical Engineering et Frontiers in Neuroergonomics. Il dirige ou a dirigé divers projets sur les BCI, dont les ANR REBEL et PROTEUS, ainsi que l'ERC Starting Grant BrainConquest.

RESUME DE LA CONFERENCE

Texte de retranscription de la conférence qui sera inséré dans une version « 2 » des actes.

ÉPIQUE 2023 : Symposium 103

Intégration Humains Systèmes : les questions sociotechniques contemporaines liées à la digitalisation, l'autonomie et au partage d'autorité.

Guy André BOY

Professeur à l'Université Paris-Saclay et à l'ESTIA, guy-andre.boy@centralesupelec.fr

RÉSUMÉ

La numérisation accrue des systèmes sociotechniques complexes exige une meilleure compréhension du rôle des acteurs humains en leur sein. Il ne s'agit plus seulement de concevoir et développer des interfaces utilisateurs une fois que les systèmes sont construits (un concept du XXe siècle), mais d'intégrer progressivement des agents humains et des agents machines pour satisfaire des objectifs de flexibilité, tangibilité, durabilité et résilience, et des critères de sécurité, efficacité et confort. La numérisation s'appuie sur des algorithmes utilisant l'intelligence artificielle, l'analyse de données, le génie logiciel, l'ingénierie des systèmes complexes, l'ergonomie et les propriétés du domaine considéré (par exemple, l'aéronautique, l'espace, l'automobile, le rail, etc.). Ce symposium s'adresse aux chercheurs et praticiens académiques et industriels de ces disciplines transversales, comme celles de l'ingénierie des systèmes, de l'informatique et de l'ergonomie, et de secteurs verticaux civils et militaires, comme ceux de l'aérospatiale et de l'automobile.

MOTS-CLÉS

Travail collaboratif humain-machine, intégration humains-systèmes, socio-ergonomie, conception anthropo-centrée, intelligence artificielle, interaction humain-ordinateur.

1. INTRODUCTION

A l'heure de la numérisation avancée, nous ne pouvons plus penser l'ergonomie comme une discipline d'évaluation que l'on utilise en fin de parcours, lorsque le corps de ingénieurs a accompli son œuvre. Nous devons unir les forces en présence et travailler en collaboration au sein d'équipes de conception composées d'ingénieurs et d'ergonomes. La nouveauté repose aujourd'hui sur le fait que ces êtres humains travaillent en partenariat avec des machines proactives de plus en plus sophistiquées. Il est donc utile et fondamental de mieux cerner et comprendre ce nouveau travail en équipe humains-machines.

La numérisation accrue des systèmes sociotechniques complexes exige une meilleure compréhension du rôle des acteurs humains en leur sein. Il ne s'agit plus seulement de concevoir et développer des interfaces utilisateurs une fois que les systèmes sont construits (un concept du XXe siècle), mais d'intégrer progressivement des agents humains et des agents machines pour satisfaire des objectifs de flexibilité, tangibilité, durabilité et résilience, et des critères de sécurité, efficacité et confort[1].

[1] Ce travail de réflexion est une poursuite des travaux effectués au sein du groupe de travail HSI (*Human Systems Intégration*) de l'INCOSE (*International Council on Systems Engineering*) en collaboration avec l'IEA (*International*

Ce symposium a pour but d'examiner une approche croisée ingénierie-ergonomie de l'intégration humains systèmes, en l'illustrant d'exemples dans les secteurs aéronautique et automobile.

2. D'UNE AUTOMATISATION RIGIDE A UNE AUTONOMIE FLEXIBLE

Nous nous centrerons sur le tryptique « technologies, contextes et personnes » au sein des organisations de travail. La numérisation s'appuie sur des algorithmes pouvant utiliser l'intelligence artificielle, l'analyse de données, le génie logiciel, l'ingénierie des systèmes complexes, l'ergonomie et les propriétés du domaine considéré (par exemple, l'aéronautique, l'espace, l'automobile, le rail, etc.). Cette approche concerne les spécialistes académiques et industriels des disciplines transversales, comme celles de l'ingénierie des systèmes, de l'informatique et de l'ergonomie, et de secteurs verticaux civils et militaires, comme ceux de l'aérospatiale et de l'automobile, à échanger pendant ce symposium sur le thème du travail en équipe humains-machines (*Human-Machine Teaming* ou HMT), où les machines fortement automatisées sont dotées de capacités de décision et d'action. Nous aborderons les questions de complexité, performance, confiance et collaboration entre humains et machines.

Alors que l'automatisation telle que nous la connaissons aujourd'hui s'est avérée être une solution utile et essentielle à la sécurité, l'efficacité et le confort dans des contextes bien spécifiés, elle rend les processus de travail plus rigides, souvent contre-productifs, voire dangereux, en particulier dans des situations inattendues où la flexibilité est nécessaire pour accomplir des tâches de résolution de problème, ce qui devrait être la perspective de l'autonomisation. Nous soumettrons cette question aux orateurs du symposium en considérant les questions d'autonomie, à la fois humaine et machine.

La question de l'autonomie sera abordée sous l'angle du support à la compréhension, la prise de décision et l'action au sein de systèmes complexes et à risque. Nous pourrons discuter de deux questions principales sur la coopération humain(s)-machine(s) et humain(s)-humain(s) via machine(s) : celle de la symétrie (ou non), éventuellement projetée sur les tâches du cycle OODA (*observe–orient–decide–act*), c'est-à-dire est-ce que les logiques et comportements des humains et des machines peuvent être considérées comme symétriques ? ; et celle de la convergence (ou non), c'est-à-dire de la dynamique d'adaptation mutuelle entre les membres de l'équipe qui comprend des humains et des machines. Nous pourrons aussi nous poser la question de la distinction entre coopération et collaboration. Seront abordées les questions de méthodologie, conception, mise en œuvre, et évaluation. Mais avant toute chose, nous devons disposer d'une représentation systémique correcte et adaptée à la problématique des systèmes humains-machines.

3. VERS UNE REPRESENTATION SYSTEMIQUE HUMAINS-MACHINES

Qu'entend-on par système ? Plusieurs définitions ont été proposées. La plupart des gens pensent qu'un système est une machine. En fait, lorsque les médecins parlent du système cardiovasculaire, ils parlent de la représentation d'un organe humain qui permet au sang de circuler dans le corps, et non d'une machine au sens mécanique du terme. Les spécialistes des sciences sociales parlent de systèmes socioculturels. Là encore, ils parlent de représentations (Figure 1). Il est important de noter qu'un système peut être décrit comme un agent, au sens d'une entité capable d'agir, c'est-à-dire « quelque chose qui fait quelque chose (une fonction capable de créer une activité) et qui a une structure, qui évolue dans le temps, dans quelque chose (un environnement) pour quelque chose (un but) ». Par conséquent, les termes « système » et « agent » seront utilisés ici indifféremment pour

Ergonomics Association). Ce travail a été lancé pendant la conférence INCOSE HSI2019 organisée avec le soutien actif de l'IEA. Nous avons depuis 2019 organisé deux conférences et deux ateliers sur un sujet plus large (350 participants) qui inclue les questions de travail en équipe intégrée humains-machines.

désigner « un ensemble d'éléments (humains ou machines), en interaction dynamique, organisé en fonction de certains objectifs ».

Plus généralement, nous parlerons de « systèmes naturels » et de « systèmes artificiels », et plus précisément de systèmes humains et de systèmes de machines dans le domaine des facteurs humains et de l'ergonomie, qui peuvent inclure d'autres systèmes, définissant de manière récursive le concept plus large de système de systèmes (c'est-à-dire un système multi-agent). Par exemple, le corps humain (c'est-à-dire un système naturel) peut inclure un stimulateur cardiaque (c'est-à-dire un système artificiel), et inversement, une voiture (c'est-à-dire un système artificiel) peut inclure un être humain (c'est-à-dire un système naturel). Un système est défini par sa structure et sa fonction qui peuvent être physiques et/ou cognitives. Par exemple, le cœur humain possède une structure spécifique qui lui permet de pomper le sang (c'est-à-dire sa fonction principale). Les automaticiens parlent de systèmes cyber-physiques (CPS), combinant des capacités cognitives avec des systèmes physiques, tandis que les informaticiens ont été amenés à développer l'Internet des objets (IoT), où certains logiciels sont complétés par des capacités physiques (par exemple, des capteurs). Il convient de noter que les concepts de CPS et d'IoT peuvent conduire à des systèmes très similaires dans la pratique.

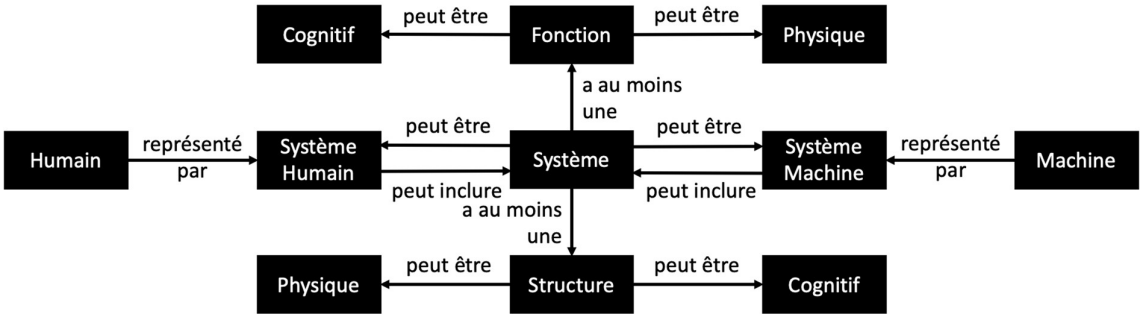


Figure 1 : A system as representation.

Pour mieux comprendre les systèmes sociotechniques, nous devons définir le concept systémique de « fonction cognitive ». Il faut noter que non seulement les humains ont des fonctions cognitives qualifiées de naturelles, mais aussi que les machines numérisées peuvent avoir des fonctions cognitives artificielles. Les fonctions cognitives peuvent être catégorisées par rapport au modèle de comportement humain de Rasmussen pour mieux interpréter l'émergence des disciplines d'ingénierie contribuant à l'automatisation des machines. Nous avons commencé à utiliser ce modèle lors de la transition du pilotage à trois personnes au pilotage à deux personnes dans les cockpits d'avions de ligne au début des années 1980. À l'époque, l'idée était de remplacer le mécanicien navigant par de nouveaux systèmes embarqués de plus en plus automatisés que le commandant de bord et le copilote peuvent facilement gérer. Nous étions déjà en présence de fonctions cognitives de contrôle d'objets physiques évoluant vers des fonctions cognitives émergentes (FCE) de gestion de systèmes de plus en plus automatisés. Notons qu'il est crucial d'avoir les bonnes métriques d'observation de l'activité pour pouvoir identifier les fonctions cognitives émergentes dans le HMT. Ce sera l'objet des deux sections suivantes dans les domaines aéronautique et automobile.

4. MOHICAN : UN EXEMPLE DE COLLABORATION HUMAINS-SYSTEMES AERONAUTIQUES

L'évaluation des performances de l'association humains-machines apporte deux valeurs substantielles à l'efficacité militaire : (1) l'amélioration de la qualité de conception des systèmes cognitifs des avions, (2) la synchronisation du comportement d'un assistant virtuel avec les besoins du cockpit pendant les combats aériens.

A titre d'exemple, le projet MOHICAN a été développé en utilisant une approche basée sur la notion de système de systèmes, pour surveiller la performance de l'association humains-machines

dans les cockpits d'un avion de combat équipé d'un assistant virtuel. Nous avons développé et adapté une méthode, ses outils associés, et un modèle prenant en compte un avion multi-rôle. Les principes définis pour le cockpit peuvent être étendus à des systèmes de systèmes plus complexes en élargissant les critères de mesure, et en intégrant la contribution de l'équipe humain-machine à la performance globale du système dans son ensemble (par exemple, une opération aérienne militaire multi-agents). MOHICAN a donné naissance à la méthode outillée PRODEC (Boy & Morel, 2022).

La performance du système repose sur l'articulation de trois facteurs articulés dans le modèle TOP (Boy, 2013) : technologique (ex : utilisabilité, explicabilité, etc.), organisationnel pour le travail en équipe (ex : confiance et collaboration, etc.) et humain (ex : charge de travail, stress, mémoire, etc.). MOHICAN associe un savoir-faire et des connaissances interdisciplinaires concernant la technologie (par exemple, l'aéronautique, l'intelligence artificielle et l'interaction humain-machine), les facteurs humains et organisationnels, et l'expertise de terrain, qui permettront d'évaluer les performances des équipes humain-machine. Les résultats du projet MOHICAN sont les suivants :

(1) Un modèle multi-agent servant de support au traitement et au transfert d'informations entre les différents systèmes (ou agents) humains et machines en fonction des scénarios et contextes tactiques, ainsi que des fonctions physiques et cognitives requises, {Fc} = {Rôle, Contexte de validité, Ressources multi-agents}. Ce modèle a été utilisé à la fois pour guider le suivi des performances et pour découvrir les fonctions cognitives émergentes.
(2) Un modèle d'évaluation à trois couches, basé sur des simulations expérimentales itératives de l'humain dans la boucle (essentiel pour la conception et le développement agiles des études d'intégration du système humain), qui intégrera :
    (a) des mesures objectives de bas niveau (par exemple, données de suivi oculaire, données de performance militaire) et subjectives (par exemple, échelles d'évaluation adaptées de Cooper-Harper, TLX de la NASA) {mi}, ainsi qu'une analyse a posteriori des activités des agents (par exemple, auto-évaluation de scènes de vol enregistrées) ;
    (b) des critères de facteurs humains $\{C_j\}$ (par exemple, la charge de travail, la fatigue, l'attention, la vigilance, l'engagement, les possibilités, la flexibilité, la maturité [technologique, organisationnelle et humaine], la tangibilité). Le modèle $C_j = g(\{m_i\})$ est élaboré à l'aide de la méthode d'analyse des fonctions cognitives (Boy, 1998) étendue par des critères de performance opérationnelle (par exemple, la gestion des risques, la réalisation des tâches, la marge opérationnelle) ;
    (c) la performance de l'équipe sera ensuite modélisée en utilisant la conscience partagée de la situation et la coopération humain-machine par le biais des métriques de l'équipe, $\{T_k\}$ $[T_k = f_{k,context}(\{C_j\})]$ dans des cas d'utilisation contextualisés. Trois métriques ont été développées : confiance, collaboration et performance opérationnelle.
(3) Une méthode de qualification de T_k pour vérifier la cohérence et la pertinence des performances du teaming avec les performances opérationnelles militaires mesurées.

Nous donnerons plus de détails sur les résultats concrets de MOHICAN en termes de HMT pendant le symposium, et l'étendrons à d'autres secteurs industriels.

5. PROJET AUTOMOBILE

Depuis maintenant de nombreuses années, voire décennies, les études d'usage et d'interaction sont au cœur de la conception des assistances à la conduite dont les champs d'intervention ont été plus récemment codifiés par la SAE (*Society of Automotive Engineers*) :

Les niveaux des Aides au conducteur

- Niveau 0 – Absence d'automatisation de contrôle (niveau informatif – ex : surveillance angle mort)
- Niveau 1 – Assistance à la conduite (contrôle longitudinal – vitesse, inter distance)
- Niveau 2 – Automatisation partielle (contrôle longitudinal et de la position latérale)

Les niveaux du Véhicule autonome

- Niveau 3 – Automatisation conditionnelle (avec demande ponctuelle d'intervention conducteur)
- Niveau 4 – Automatisation élevée (conduite entièrement assurée dans certains contextes)
- Niveau 5 – Automatisation complète (le système technique assume toutes les tâches de conduite)

Actuellement, seules les aides au conducteur sont largement déployées, les niveaux du véhicule autonome étant encore au niveau de prototype ou de déploiement ponctuels (ex : navette autonome)

Cette classification technocentrée convoque les grandes thématiques de la cognition de la conduite et de l'ergonomie des systèmes (niveaux de contrôle cognitif, distraction, conscience des modes et de la situation, confiance, co-action …) que nous aimerions illustrer au travers de trois études :

- **Étude de l'appropriation d'une aide au conducteur de niveau 2**

  Se déroulant sur près d'une année, cette étude a consisté à suivre en quatre temps une vingtaine de clients depuis l'achat du véhicule jusqu'à 9 mois après sa livraison. Centrée sur les attentes, les apprentissages et appropriation d'une aide de niveau 2, cette étude a mis en évidence une certaine anthropomorphisation des limites du système technique ainsi que certaines variabilités interindividuelles non pas seulement dans la « confiance dans la technologie » mais surtout dans la « confiance en soi conduisant avec la technologie ».

- **Études de l'intégration de véhicules autonomes dans la circulation**

  Dans le cadre du projet collaboratif SAM (*Safety and Acceptability of autonomous Mobility*), plusieurs expérimentations de terrain ont été menées pour étudier l'intégration de véhicules et navettes autonomes dans la circulation générale. Centrées sur l'observation du comportement des autres usagers de la route, ces études de « co-action » (partage d'une ressource commune) ont mis en évidence certaines difficultés pour un sous-système « réglé » (de part des objectifs de sécurité et les limites de capacité d'adaptation) à s'intégrer dans un système « géré » (les situations de conduite dont une partie de la performance et sécurité émerge des interactions concrètes).

- **Projet d'une aide à la conduite anticipatrice à partir de fonctionnalités du Véhicule autonome**

  Le Véhicule Autonome induit un certain nombre de fonctions cognitives artificielles qui pourraient être utilisées dans d'autres contextes que celui de la conduite autonome, dans la perspective d'une aide à la conduite informative plus anticipatrice que réactive. Menée en collaboration avec l'ECF, la première phase de l'étude de terrain a permis d'identifier un certain nombre de catégories de situations perçues comme risquées par les conducteurs (sécurité vécue) en complément de données de l'accidentologie (sécurité réelle). A partir de cette taxonomie, la prochaine étape sera d'élaborer un système « copilote/moniteur » sur des niveaux stratégiques et tactiques de la conduite, de manière dynamique, individuée et adaptative.

D'autres problématiques pourront être abordées lors du symposium.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les travaux actuels dans le domaine du « *human-machine teaming* » portent sur l'appréhension de la confiance, la collaboration et la performance opérationnelle. Il est donc important de comparer les approches, méthodes, outils et résultats de ces travaux à travers plusieurs secteurs industriels. Ce symposium a été construit dans ce but avec deux secteurs d'application : l'aéronautique et l'automobile. Ce document d'introduction est destiné à lancer les discussions. A l'issue des présentations et débats, nous écrirons un document de synthèse plus élaboré qui sera publié dans une revue d'ergonomie.

7. BIBLIOGRAPHIE

Boy, G.A. (1998). *Cognitive Function Analysis*. Praeger/Ablex, CT, USA.

Boy, G.A. (2013). *Orchestrating Human-Centered Design*. Springer, U.K.

Boy, G.A. & Morel, C. (2022). The Machine as a Partner: Human-Machine Teaming Design using the PRODEC Method. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*. Vol. 73, no. S1, pp S15-S30. DOI: 10.3233/WOR-220268.

Evaluation de la performance, de la collaboration et de la confiance au sein d'une équipe pilote-assistant virtuel dans un cockpit d'un avion de combat simulé.

Chloé MOREL

ESTIA, France, c.morel@estia.fr

RÉSUME

Le projet MOHICAN mené de décembre 2019 à novembre 2020 par une équipe de chercheurs et d'ingénieurs de recherche de l'ESTIA et de pilotes de chasse de Synapse Défense avait pour objectif d'étudier la performance du travail en équipe (teaming) entre un pilote et un assistant virtuel (AV). Pour ce faire, nous avons adopté une démarche basée sur les dernières avancées de conception anthropocentrée participative (HCD : Human Centered Design) conduisant à une meilleure intégration humains-systèmes (HSI : Human Systems Integration). L'objectif de l'étude était de définir les paramètres à mesurer pour l'évaluation de la performance de la collaboration et de la confiance Humain / AV et de proposé un modèle d'évaluation de cette performance. Pour cela nous avons étudié des modèles des paramètres sélectionnés et leur lien avec la performance globale de la collaboration humain/AV et proposé des métriques pouvant caractériser les paramètres sélectionnés (mesures quantitatives des paramètres augmentées par des évaluations qualitatives).

MOTS-CLÉS

Collaboration, confiance, assistant virtuel, simulation, Intégration Humains Systèmes (HSI)

1. INTRODUCTION

L'augmentation de la complexité dans le cockpit et l'introduction des systèmes intelligents pour assister le pilote (aide à la décision, réduction de la complexité, délégation de tâches, etc.) imposent un nouveau challenge dans la conception des futurs cockpits d'avion de combat. La mesure de l'adéquation et l'effectivité de la boucle humain-agent deviennent critiques et prioritaires dans la conception des nouveaux systèmes du cockpit. Le programme d'études amont MMT (Man-Machine Teaming) initié et financé par la Direction générale de l'armement (DGA) et animé par Dassault Aviation et Thales avait pour objectif de répondre à ces questions. Le projet MMT MOHICAN avait pour objectif de se concentrer sur l'intégration, l'interaction et la performance des systèmes/agents cognitifs (systèmes embarqués et pilotes) dans les avions de chasse militaires avancés, et s'est focalisé plus particulièrement sur l'évaluation de la confiance et de la collaboration.

La confiance est un sujet très riche qui a été exploré dans de nombreux domaines scientifiques. Atkinson (2012) qui est l'un des principaux scientifiques ayant travaillé sur la confiance dans les systèmes humain(s)-machine(s) a développé trois concepts pour caractériser la confiance : la compétence (prévisibilité et transparence) ; la réputation (signaux et comportements stables) et la fiabilité (anticiper, guider, permettre le travail en équipe). La confiance est intimement liée à la coopération et à la collaboration. Par conséquent, nous nous sommes concentrés sur une vision systémique et organisationnelle (c'est-à-dire multi-agents) de la confiance associée à la collaboration (Mayer, Davis & Schoorman, 1995). La coopération et la collaboration doivent cependant être différentiées. Dans la coopération, l'objectif de chaque participant est le même, mais ses intérêts sont individuels. En revanche, dans la collaboration, les gens se rassemblent pour un intérêt commun et un même objectif. Driskell et Salas (1992) ont montré expérimentalement que les membres d'une équipe

à orientation collective sont plus susceptibles de s'occuper des tâches des autres membres de l'équipe et d'améliorer leurs performances lors des interactions en équipe que les membres égocentriques de l'équipe.

À travers le projet MOHICAN, notre objectif était de créer une approche méthodologique innovante pour évaluer la performance de la confiance et de la collaboration humain/machine, mais aussi prototyper un assistant virtuel (AV) suffisamment élaboré pour tester avec pertinence les métriques, critères et mesures de base de la performance de la confiance et de la collaboration. MOHICAN a bénéficié d'une expertise et d'un savoir-faire de haut niveau en matière à la fois de FH/ergonomie et de combat aérien. Le nombre de pilotes était réduit, mais leurs compétences dans le domaine du combat aérien et leur intégration dans le domaine de l'ingénierie des systèmes (i.e., le métier d'ingénieur) étaient très élevées.

2. METHODE

Notre avons abordé le problème du suivi des performances par une approche multi-agents. Plus spécifiquement, notre approche s'est basée dans un premier temps sur la recherche de modèles multi-agents de confiance et de collaboration les plus génériques possibles, en se focalisant sur les types et les niveaux d'interaction entre l'humain et l'automatisation (Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000), la cognition distribuée (Hutchins, 2000), les systèmes multi-agents (Ferber, 1999), l'interaction humain-robot (Fong et al., 2006), les modèles systémiques d'interaction (Boy, 2019), l'automatisation des organisations (Boy & Grote, 2009), le travail coopératif assisté par ordinateur (Grudin, 1988), la confiance dans l'automatisation (French, Duenser & Heathcote, 2018), l'équipe humain(s) machine(s) ou Human machine Teaming en anglais (HMT) (Damacharla et al., 2018) et d'autres modèles pertinents adaptables au contexte du combat aérien comme la conscience de la situation et la prise de décision (Endsley, 1995). Le projet MOHICAN repose entièrement sur cette approche modélisante qui consiste à créer un nouveau modèle a priori en utilisant les connaissances de la littérature (c'est-à-dire le background du domaine considéré, ici les connaissances en matière de facteurs humains et de combat aérien), puis à affiner pas à pas le modèle par des expérimentations en simulateur.

Pour mesurer la performance de la confiance et de la collaboration entre un pilote et un AV, notre modèle multi-agents avait pour objectif de représenter les informations et les processus de traitement associés. L'intérêt est de mettre en évidence, pour une gamme de scénarios et de contextes donnés (le domaine d'emploi du modèle), ainsi que les fonctions cognitives et physiques {Fc} = {Rôle, Contexte de validité, Ressources multi-agents nécessaires} au sein du cockpit. Puis avec l'appui de mesures de bas niveau {mi} obtenues par le recueil de données objectives et subjectives, nous avons évalué des critères {Cj} qui caractérisent le système multi-agents de l'équipe Humain-machine avec des métriques de haut niveau {Tk} (ex., charge de travail, attention, vigilance, engagement, efficacité, flexibilité, etc.).

Pour réaliser ce modèle de performance de l'équipe humain-machine orienté sur l'analyse de la confiance et de la collaboration, nous avons utilisé la méthode PRODEC développée dans le cadre de la Chaire FlexTech. Elle est basée sur la distinction utilisée en psychologie cognitive et en informatique entre les connaissances procédurales et déclaratives. La méthode préconise le développement de scénarios opérationnels (i.e., une analyse de tâches de façon procédurale) et découvre progressivement des configurations (i.e., une analyse déclarative des structures et des fonctions mises et/ou à mettre en œuvre). Dans cette logique, l'outil BPMN (Business Process Model and Notation) (White & Bock, 2011) a couvert la partie procédurale, et la méthode CFA (Cognitive Function Analysis), la partie déclarative (Boy, 1998). Comme l'articulation des aspects procéduraux et déclaratifs nécessitent des analyses de l'activité, il est nécessaire de mettre en œuvre des simulations humain-dans-la-boucle (SHDLB), comme le ferait une équipe d'essais en vol dans un cadre virtuel (i.e., en simulation). À travers cette méthodologie, nous avons pu également intégrer les principes du « Human centered Design » (HCD) pour la conception de l'AV. Par l'analyse de l'expertise métier, des connaissances procédurales et déclaratives et des simulations « Humains dans la boucle », plusieurs itérations de prototypes ont pu être conçu. Dans le détail, voici les différentes étapes de la méthode PRODEC qui ont été suivies :

1. La définition du contexte opérationnel et par conséquent du futur domaine d'emploi des modèles.
2. Des analyses des tâches et fonctionnelles en utilisant BPMN comme support à la formalisation.
3. La préparation d'un environnement de simulation nécessitant le développement de fonctions complémentaires de l'AV, et les pré-tests d'intégration.
4. Des simulations humain-dans-la-boucle (SHDLB) basées sur des scénarios denses et réalistes contextualisant les modèles BPMN précédemment décrits.
5. Le recueil de paramètres FH (ex., *eye tracking*, fréquence cardiaque, vidéo, etc.) et opérationnels significatifs de l'activité des pilotes de chasse.
6. Leur analyse, une interprétation des résultats expérimentaux, et la génération de recommandations pour l'itération suivante. Les déviations entre tâches et activité ont permis de découvrir certaines propriétés émergentes, ainsi que des fonctions émergentes qui ont été réintroduites dans les itérations suivantes (à la fois dans l'analyse de tâches et dans l'AV).
7. À chaque itération, le modèle de performance a évolué. Les mesures de base {mi}, les critères intermédiaires {Cj} et les métriques de haut niveau {Tk} ont été remis en cause et actualisés en fonction de leur pertinence, de leur validité (sens et contenu) et de leur facilité de mise en œuvre.

3. CONTEXTE OPÉRATIONNEL RETENU

Le contexte doit permettre d'explorer la confiance et la collaboration entre l'Humain et la Machine sur la majorité des tâches opérationnelles qui pourraient être confiées au système de systèmes {chasseur de dernière génération, équipage}. Les scénarios proposés ont donc mêlé des séquences d'attaque air-sol planifiées, des phases de ciblage dynamiques, et enfin des phases d'interception air-air. Afin de mettre en évidence la performance de la confiance et de la collaboration entre l'Humain et son AV, nous avons fait augmenter le niveau de difficulté des missions au cours des itérations pour augmenter la charge de travail des pilotes. En effet, pour French et al. (2018), l'intérêt pour la confiance apparaît le plus souvent dans des situations d'incertitude et de vulnérabilité.

Pour nos simulations, 3 pilotes de SYNAPSE Défense ont été sollicités. Au total, 5 itérations de test ont été nécessaires pour faire varier le niveau de difficulté du scénario et faire évoluer le modèle de performance de l'équipe humain-machine et permettre une amélioration progressive de l'AV. En raison du COVID, un seul pilote a pu réaliser les 5 itérations et les deux autres ont réalisé les 3 premières itérations. Chaque itération durée environ 30 à 40 minutes. Le profil des sujets a été défini à l'aide d'un entretien pré-test afin de cerner au mieux leur profil (âge, qualification de type, expérience du combat, expérience monoplace/biplace, nombre d'heures d'entrainement sur simulateur, etc.) Chaque participant a été préalablement formé au pilotage de l'avion sélectionné pour les tests, ainsi qu'aux différentes versions de l'AV. L'ensemble des passations se sont déroulées dans un espace dédié au sein de SYNAPSE Défense. Pour la mise en place des simulations, nous avons sélectionné le simulateur de vol DCS World associé à TAC view, un outil d'analyse de vol universel permettant l'export automatique des éléments de trajectoire. DCS World avait l'avantage de disposer d'un module F14 proposant un mode de jeu (monoplace + AV) offrant le choix au pilote de distribuer des tâches au sein du cockpit (gestion des systèmes de navigation, du cap, de l'altitude, de la vitesse, délégation de fonctions tactiques, etc..) via un menu contextuel commandé par un head tracker ou par reconnaissance vocale. Cet AV a ensuite fait l'objet d'amélioration au fur et à mesure des itérations. Pour l'analyse des expérimentations, 4 outils ont été utilisés : l'eye-tracker Tobii Pro Lab pour analyser l'activité des pilotes via les parcours oculaires. Bonitastudio pour la modélisation des processus métier sous forme de BPMN. La ceinture Garmin cardiofréquencemètre pour mesurer la fréquence cardiaque instantanée en BPM. Et enfin, The Observer XT pour la synchronisation des capteurs vidéo, l'encodage et l'analyse des comportements des pilotes.

4. RESULTATS

Les résultats de cette étude portaient sur 3 points :

(1) La mise en place d'un modèle de performance de la confiance et de la collaboration entre un pilote et un AV dans le domaine du combat aérien. Notre modèle s'appuie sur 11 critères {Cj} qui

caractérisent le système multi-agents de l'équipe pilote-AV (efficacité, efficience, flexibilité, fiabilité, pertinence, transparence, Qualité du feedback, Allègement perçu de la tâche, Absence de gêne, charge de travail, conscience de la situation). Chacun de ces critères est évalué en s'appuyant sur des mesures de bas niveau {mi} obtenues par le recueil de données objectives (oculométrie, mesure de performance opérationnelle militaire, fréquence cardiaque, encodage vidéo) et subjectives (échelles standardisées : NASA TLX, SART, SUS, etc.), ainsi que l'analyse a posteriori des activités des agents (entretiens d'auto-confrontation et commentaires sur les enregistrements audio et vidéo).

(2) La méthode PRODEC s'est avérée pertinente en permettant notamment de capturer pas à pas l'expertise des opérateurs humains pendant la conception et le développement mêmes des fonctions du système d'assistance. L'articulation de la conception des scénarios et des critères de mesure pour l'évaluation du système conçu a contribué à une amélioration progressive du système lui-même. Elle a permis de définir et de tester la qualité et l'efficacité de l'intégration Humain-Systèmes très tôt dans le processus de conception de l'AV.

(3) La mesure de la performance de la confiance et de la collaboration n'a de sens que pour un contexte circonscrit. Or cette notion de contexte est difficile à formaliser. La scénarisation de l'étude et l'identification des séquences opérationnelles (en utilisant le support méthodologique basé sur PRODEC et BPMN) en constituent une première étape, que nous avons complétée par un indicateur évaluant en temps réel la charge de travail théorique du pilote via un algorithme. Cet indicateur se base sur le système, ici l'avion, le contexte et son environnement et enfin les tâches du pilote en intégrant la mobilisation de ces ressources cognitives. Nous avons constaté que la mesure de la fréquence cardiaque (capturée lors de l'activité de simulation) se superposait très sensiblement à la variation de l'indice théorique de charge cognitive du pilote. Nous ne pouvons certes pas déclarer que ces indices et la fréquence cardiaque sont corrélés parce que les données générées proviennent d'expérimentations impliquant peu de pilotes de chasse. Cependant, la persistance de la similarité de l'évolution temporelle des indices contextuels et de la fréquence cardiaque sur cinq cycles d'expérimentation représente une piste de réflexion particulièrement intéressante non seulement pour l'analyse de la confiance et de la collaboration entre un pilote et un AV, mais également pour d'autres travaux.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le principal résultat de cette étude est la méthode d'évaluation de la performance de l'équipe humain-machine (Teaming) par l'analyse de la confiance et de la collaboration, que nous avons améliorée au cours des cinq itérations de notre processus de conception anthropocentrée. Pour résumer, une fois qu'un indice contextuel indique une valeur significative, la procédure d'évaluation de la confiance et de la collaboration est lancée. Cette procédure consiste à évaluer tous les critères intermédiaires, et de les combiner pour obtenir une évaluation du degré de confiance/collaboration. Elle se base sur une expérience en matière de conception anthropocentrée (HCD), les derniers développements et résultats en matière d'intégration humains-systèmes (HSI), ainsi que son raffinement progressif dans le cadre du projet MOHICAN dédié au combat aérien. Cependant cette méthode ne saurait être utilisée sans l'implication de pilotes de chasse au sein d'une équipe HCD. Afin de consolider ces résultats, des expérimentations complémentaires devraient être menées avec davantage de pilotes et sur des contextes opérationnels différents.

Le second résultat porte sur l'élaboration d'un indicateur évaluant en temps réel a priori la charge de travail théorique du pilote. Ces indices, construits par des experts métier, sont particulièrement prometteur et constitueraient un élément différenciant pour choisir des logiques d'évaluation de la confiance et de la collaboration du teaming adapté aux circonstances. De plus, ils permettraient une évaluation du contexte susceptible de déclencher des comportements spécifiques de l'AV. Cependant, pour perfectionner ces indices, des expérimentations complémentaires devraient être mises en place en utilisant d'autres mesures physiologiques, telles que la variabilité de la fréquence cardiaque, le diamètre pupillaire, la mesure du flux sanguin par ultrasons, l'électroencéphalographie ; la spectroscopie infrarouge (NIRS) pour mesurer le taux d'oxygénation du sang dans le cerveau, etc.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement le partenaire Synapse Défense pour son expertise sur le projet MOHICAN ainsi que le programme Man Machine Teaming (MMT) de la Direction générale de l'armement (DGA) géré par Thales et Dassault Aviation.

7. BIBLIOGRAPHIE

Atkinson, D. (2012). Human-Machine Trust. Talk at IHMC on November 4, 2012.

Boy, G.A. (1998). *Cognitive Function Analysis*. Contemporary Studies in Cognitive Science and Technology Series, Ablex-Praeger Press, USA.

Boy, G. A., & Grote, G. (2009). Authority in increasingly complex human and machine collaborative systems: Application to the future air traffic management construction. In *The proceedings of the 2009 international ergonomics association world congress, Beijing, China*.

Boy, G.A. (2019). Cross-Fertilization of Human-Systems Integration and Artificial Intelligence: Looking for Systemic Flexibility. *Proceedings of AI4SE 2019, First Workshop on the application of Artificial Intelligence for Systems Engineering*. Madrid, Spain.

Damacharla, P., Javaid, A.Y., Gallimore, J.J. & Devabhaktuni, V.K. (2018). Common Metrics to Benchmark Human-Machine Teams (HMT): A Review. IEEE Access 6, pp. 38637-38655. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2853560.

Driskell, J.E. & Salas, E. (1992). Collective Behavior and Team Performance. *Human Factors*, 34(3), pp. 277-288.

Ensley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, *37*, 85-104.

Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA.

Fong, T., Steinfeld, A., Kaber, G., Lewis, M., Scholtz, J., Schultz, A. & Goodrich, M. (2006). Common Metrics for Human-Robot Interaction. *HRI'06*, March 2–4, Salt Lake City, Utah, USA

French, B., Duenser, A. & Heathcote, A. (2018). *Trust in Automation – A Literature Review*. CSIRO Report EP184082. CSIRO, Australia.

Grudin, J. (1988). Why CSCW applications fail: Problems in the design and evaluation of organizational interfaces. CSCW '88: Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work, pp. 85-93. https://doi.org/10.1145/62266.62273. ACM O-89791-282-9/88/0085.

Hutchins, E. (2000). Distributed cognition. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences. Elsevier Science*, *138*, 1-10.

Mayer, R. C., Davis, J. H. & Schoorman, F. D. (1995). An integrative model of organizational trust. The Academy of Management Review, 20, 709. https://doi.org/10.2307/258792.

Parasuraman, R., Sheridan, T.B. & Wickens, C.D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. In: IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans 30.3, pp. 286–297.

White, S.A. & Bock, C. (2011). *BPMN 2.0 Handbook Second Edition: Methods, Concepts, Case Studies, and Standards in Business Process Management Notation*. Future Strategies Inc. ISBN 978-0-9849764-0-9.

VEHICULES AUTOMATISES DANS LE TRAFFIC. SYSTEMES REGLES ET SYSTEMES GERES

Jean-Baptiste Haué

LAB / Renault, Nanterre ; jean-baptiste.haue@lab-france.com

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet collaboratif SAM (Sécurité et Acceptabilité de la Mobilité Autonome), plusieurs expérimentations de terrain sont menées pour étudier l'intégration de véhicules automatisés dans le trafic. Centrées sur l'observation du comportement des autres usagers de la route par les Safety Drivers, surveillant la conduite derrière le volant et prêts à intervenir, ces études sur l'interaction dans un espace commun mettent en évidence comment s'intègrent un sous-système « réglé » (de part des objectifs de sécurité et les limites de capacité d'adaptation) dans un système « géré » (les situations de conduite dont une partie de la performance et sécurité émerge des interactions concrètes).

MOTS-CLÉS

Conduite automobile, véhicule automatisé, règle, adaptation, sécurité routière

1. INTRODUCTION

L'utilisation de règles, typiquement de formulation logique « si… alors … », permettent de décrire une partie de l'activité humaine de conduite. Elles permettraient l'identification d'états connus à partir de l'observation (basée sur des compétences) et la sélection d'actions pertinentes pour les buts (établis par l'utilisation de connaissances), selon Rasmussen (1987). Elles apparaissent particulièrement adaptées pour décrire les choix tactiques à moyen terme de la gestion des manœuvres, à côté des choix à court terme de la gestion opérationnelle de la trajectoire et ceux à plus long terme de la gestion stratégique de la navigation (Michon, 1985). En ce sens, le code de la route fourni un ensemble de règles prescrivant le comportement attendu des conducteurs, et les sanctions encourues sinon.

Le Véhicule Automatisé (VA) présente une programmation explicite de règles de fonctionnement, régissant la prise de décision et la gestion de sa dynamique, qui est nécessaire pour la démonstration de sa sécurité et de sa légalité par rapport au code de la route. Il roule déjà dans certaines régions du monde où la réglementation le permet. Il incarne particulièrement bien la notion de système réglé, i.e. dont la sécurité s'appuie sur l'application de ces règles et procédures.

La mise en place d'expérimentations, dont le projet SAM qui teste l'efficacité et l'acceptabilité de services de mobilité automatisée, permet d'observer l'interaction entre les VA et les conducteurs humains. Les perturbations qui apparaissent offrent l'occasion d'explorer empiriquement l'écart entre un système réglé et le système géré (Cuvelier et Woods, 2019), i.e. dont la gestion de la sécurité est adaptée au contexte, du trafic humain dans lequel il s'insère. L'intérêt est à la fois de qualifier les modes d'adaptation de ce dernier mais aussi d'éclairer les enjeux de l'insertion du VA.

2. ETUDE DE L'EXPERIMENTATIONS DE VEHICULES AUTOMATISES DANS LE PROJET SAM

Le projet SAM (Sécurité et Acceptabilité de la Mobilité autonome), financé par l'ADEME, regroupe des expérimentations de mobilité automatisée. Ce texte s'appuie sur l'étude des perturbations du trafic avec des navettes automatisées au bois de Vincennes, étude 1 avec la RATP, au campus de Rennes, étude 2 avec Keolis, et avec des véhicules personnels sur voies à chaussées séparées, étude 3 avec Stellantis (Haué et al., 2022).

Pour chaque étude, des entretiens avec les Safety Drivers, surveillant la conduite derrière le volant et prêts à intervenir, ont permis de recueillir les scénarios de perturbation, et parfois d'incivilité, subis par le véhicule automatisé lors de son insertion dans le trafic, parfois à partir de l'analyse des journaux d'incidents (étude 2) ou après un roulage de 2h (étude 3, en contact radio depuis un véhicule suiveur). Les scénarios de perturbations subies par le VA sont présentés dans le tableau 1 avec leur fréquence estimée et les conditions de roulage concernées : routes urbaines et voies à mobilité douce (piéton, vélo) pour l'étude 2, voies à chaussées séparées pour l'étude 3.

Tableau 1 : Liste des scénarios de perturbations observées lors des études, associés aux facteurs de **D**éplacement, **C**oordination, **S**ocial, Sur Voie à Mobilité Douce (VMD), Zone Urbaine (ZU), Voie à Chaussées Séparées (VCS)

Sc	D	C	S	Fréquence	Scénario	Où
1	O			Fréquent	Véhicule effectuant un dépassement inapproprié voire risqué	ZU
2	O			Fréquent	Véhicule (voire cycliste) dépassant le VA, surtout lors d'arrêt sur la voie pour prendre ou laisser un passager, alors qu'un véhicule arrivait en face.	
3	O	O		Fréquent	Véhicule/cycliste refusant la priorité lors d'un céder le passage, à un stop, ou lorsque la navette VA (prioritaire) cherche à quitter sa zone d'arrêt.	
4	O			Fréquent	Véhicule suivant de trop près pour inciter à déboiter.	VCS
5	O	O		Fréquent	Vehicule doublant par la droite, notamment lors de croisements d'autoroutes.	
6	O	O		Assez fréquent	Véhicule s'insérant devant le VA, le forçant à freiner ou à changer de voie (camion ou voiture doublant un camion, depuis une voie d'insertion …)	
7		O		Fréquent	Véhicule se rabattant trop près après avoir doublé, forçant le VA à ralentir.	
8		O		Rare	Véhicule garé sur les zébras dédiés au VA, bloquant son passage	ZU
9		O		Très fréquent	Véhicule garé de manière inadéquate, éloigné du trottoir, sur un passage piéton, véhicule large dont le rétroviseur dépasse de la voie.	
10		O		Très fréquent	Piétons bloquant le chemin en marchant sur la voie	VMD
11			O	Rare	Cycliste / piéton provoquant ou testant le VA (étant très près, le frappant, courant devant ou prenant une photo)	VMD + ZU
12			O	Rare	Conducteur restant à la hauteur du VA pour l'observer.	VCS

Cette liste, même limitée par les spécificités de chaque expérimentation, offre une photographie des perturbations les plus fréquentes, regroupées par facteur. Certains scénarios sont effectivement associés à une motivation de déplacement, typiquement un conducteur pressé passant devant les autres. D'autres montrent un défaut de coordination avec le trafic. Les derniers manifestent des comportements spécifiquement sociaux.

Ces facteurs s'expriment différemment selon les conditions de roulage. Sur autoroute, la conduite « réglée » du VA se rapproche, dans une régularité artificielle, de celle d'un conducteur particulièrement prudent, très structurée par l'infrastructure qui se prête bien à une gestion tactique (en excluant péages, entrées, sorties …). Le VA subit le comportement « usuel » des conducteurs les moins respectueux, vécu tous les jours sur une route fréquentée (Sc 4-7). Les conditions urbaines présentent une variabilité d'acteurs, de finalités et de vitesses. La vitesse moindre encourage des écarts à la règle plus marqués (Sc 1-3). Les occupations de la voirie par le parking, incluant travaux et livraisons (Sc 8-9) débordent fréquemment sur la trajectoire réglée du VA. Enfin, sur voies à mobilité douce, le VA doit faire son chemin notamment parmi les piétons.

3. LES REGLES ET LEURS VARIATIONS

3.1. Vitesse réglementaire VS envie de déplacement

Le VA est conçu pour respecter strictement la vitesse réglementaire. Or, lors de nombreux scénarios, des usagers de la route ne respectent pas cette règle essentielle du code de la route. Amalberti et al. (2006) décrivent cette zone de contrôle de l' « illégal-normal » où les règles sont négociées dans l'activité et le collectif pour accroître l'efficacité personnelle. La violation de la règle légale est alors justifiée par des précautions établies pour assurer la sécurité, e.g. une vigilance accrue en survitesse, la légitimité par rapport aux autres ou par l'absence de conséquences fâcheuses.

Le VA, conçu pour garder une allure sûre, peut également ralentir ou hésiter à s'engager quand la perception des capteurs ou les marges de sécurités ne sont pas assurées, incitant parfois les autres à le dépasser. Mais, même à la vitesse réglementaire, il peut se retrouver en décalage avec les pratiques

habituelles (« normales ») du trafic et inciter ces comportements, e.g. non-respect d'une limitation à 30 km/h dans une zone jugée sûre et sans contrôle routier.

La régulation de la conduite quotidienne, éloignée de celle d'un professionnel entraîné, peut également se formuler comme un processus visant à préserver l'état émotionnel du conducteur, qui est négativement impacté lorsqu'un des facteurs de conduite sort de sa zone de satisfaction (Summala, 2007) : 1) marge de sécurité qui devient incertaine, 2) confort qui se dégrade, 3) avancée retardée du trajet ou 4) règle non respectée (au risque d'amende ou de jugement social). En écart avec les modèles de gestion explicite et raisonné du risque, ce modèle explique les compromis entre ces facteurs de conduite. La pression chez un conducteur pressé, ou énervé d'être bloqué, est « soulagée » par l'augmentation de l'allure, au prix émotionnel d'un non-respect d'une règle, voire d'un risque. L'arbitrage peut se dérouler directement par la valence somatique négative, issue d'expériences passées, de la projection perceptive de la trajectoire à venir (Gibson & Crooks, 1938), e.g. le repoussoir de la zone derrière le camion lent incitant à un déboitement même serré, éventuellement avant même une évaluation cognitive (Vaa, 2014). Sans conséquence néfaste, le seuil de « satisfaction » dans le non-respect de la règle peut évoluer, éliminant la gêne initiale d'une survitesse dosée.

3.2. Coordination et conflit dans le partage d'espace

D'autres scénarios montrent un défaut de coordination avec le VA qui manifestent un manque d'effort, tel un déplacement par la droite (Sc 5), une insertion sans assurer de la distance de suivi (Sc 6-7) ou en tardant à laisser le passage (Sc 10).

La résolution des conflits dans le partage de l'espace commun implique une interaction avec les autres. La conduite individuelle est ponctuée d'épisodes où le conducteur focalise son interaction dans la reconnaissance d'une situation connue, comme la facilitation de l'insertion sur autoroute, décrite comme un « cadre » avec ses « rituels d'interaction », i.e. comportements stéréotypés attendus pour assurer courtoisie et respect (Goffman, 1971). L'identification des situations et le déroulé de ces comportements reposent sur la détection de l'intention des autres par une communication implicite, e.g. la lecture des accélération/ralentissement, ou explicite, e.g. par un appel de phare.

Le manque de coordination peut tout d'abord s'expliquer par un manque de motivation d'en respecter les cadres. Le « coût » émotionnel d'un manque de respect d'une règle sociale peut être le prix pour, par exemple, ne pas être ralenti (Sc 3-6) voire pour la satisfaction dans mode devenu compétitif de bloquer l'autre ou d'exprimer une agressivité latente. Le conducteur humain peut également être distrait, ignorer un usage local ou mésinterpréter le comportement d'autrui, e.g. comprenant un ralentissement « prudent » du VA comme une invitation à passer. Dans le cas du parking, il peut ignorer l'importance de la conséquence pour le VA, bloqué car incapable de contourner un obstacle, a fortiori en traversant une ligne blanche (le Sc8 s'est fait plus rare alors que les usagers du site étaient témoins des blocages du trafic qui en résultaient). La perception et la compréhension des intentions des autres usagers reste tout autant un enjeu pour les règles de comportement du VA.

3.3. Identité et valeur sociales

Des perturbations liées à des motivations purement sociales apparaissent, plus rarement et d'autant plus contenues que la vitesse augmente et que les individus sont isolés dans leurs habitacles. La curiosité s'exprime sur l'autoroute face aux capteurs et stickers du VA (Sc 12), par des cyclistes et surtout piétons, prenant en photo le VA, testant ses réactions, e.g. en se mettant devant pour le voir s'arrêter (Sc 11). De manière encore plus anecdotique, mais marquante, des protestations peuvent être émises sur la place qu'a « pris » aux autres le VA sur la voirie ou dans la manifestation de valeurs.

Le VA, sans comportements sociaux propres, n'est que le support d'une attention sociale ou sociétale, selon son apparence, son comportement et son insertion dans le territoire.

4. CONCLUSION : QUELLE ADAPTATION DE L'INTERACTION AVEC LE VA ?

Les conducteurs adaptent en continu leur conduite, d'autant qu'ils rencontrent de nouvelles conditions telles que l'irruption d'un VA avec ses comportements propres, dont son respect strict des

règles et sa prudence pouvant parfois paraître excessive. L'engagement au moment de cette rencontre, e.g. d'être pressé ou non, va orienter les compromis émotionnels, la sélection de la situation qui va cadrer l'expérience du conducteur et, finalement, le choix de son comportement (Theureau, 2006). Les règles qui se construisent dans la découverte puis la répétition, e.g. pour décider de passer ou de laisser passer, formalisent finalement l'appropriation d'un ensemble d'éléments d'une situation, perceptifs, émotionnels, associés à des valeurs … éventuellement rationnalisé sous une forme logique.

L'insertion d'un VA sur une voie à mobilité douce nécessite une adaptation de la part des autres usagers, notamment piétons, pour lui laisser la place, qu'ils n'ont pas forcément a priori la motivation de développer, voire qui les amènent à protester (Sc11). La vitesse sûre et respectueuse des règles du VA peut être perçue comme pacifiant les comportements moins respectueux dans le trafic ou amener une pression temporelle insoutenable dans l'organisation du quotidien (Sc 3 à Rennes développé spécifiquement pour le VA afin de ne pas rester bloqué derrière). Pour assurer l'insertion du VA dans le trafic, un premier levier est d'adapter la programmation de son comportement, même si des questions éthiques, légales et technologiques rendent difficile la négociation des règles du code de la route ou de sécurité. Les leviers restants sont celui d'adapter l'infrastructure pour faciliter le croisement des flux et celui d'asseoir la légitimité du VA, pour justifier d'éventuels moments de gêne par son apport à la collectivité, comme un bus ou une auto-école, ce qui nécessite une intégration adéquate au sein du territoire et la communication associée.

Les notions de systèmes réglés, systèmes gérés reposent initialement sur celles de travail prescrit et de travail réel. Le véhicule automatisé incarne bien en quoi un système réglé vient perturber le trafic et amène une adaptation de la conduite humaine dans laquelle la sécurité est gérée selon le contexte. Cette activité du quotidien montre que, encore plus que pour une activité professionnelle, les notions d'engagement, de régulation émotionnelle, de cadres sociaux voire sociétaux sont d'autant plus importantes pour comprendre l'émergence contextuelle des adaptations de la gestion de la sécurité.

5. BIBLIOGRAPHIE

Amalberti, R., Vincent, C., Auroy, Y., & De Saint Maurice, G. (2006). Violations and migrations in health care: A framework for understanding and management. Quality and Safety in Health Care, 15(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1136/QSHC.2005.015982

Cuvelier, L., & D. Woods, D. (2019). Sécurité réglée et/ou sécurité gérée : Quand l'ingénierie de la résilience réinterroge l'ergonomie de l'activité. Le travail humain, 82(1), 41-66. https://doi.org/10.3917/th.821.0041

Gibson, J. J., & Crooks, L. E. (1938). A Theoretical Field-Analysis of Automobile-Driving. The American Journal of Psychology, 51(3), 453-471. https://doi.org/10.2307/1416145

Goffman, E. (1971). Relations in Public: Microstudies of the Public Order. New York: Basic Books.

Haué, J.B., Merlhiot, G., Koustanaï, A., Barré, J., Moneger, F. (2022) - "Hey Robot, let me the way" Automated Vehicle and incivility, ITS Toulouse.

Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In Human Behavior and Traffic Safety (p. 485-524). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2173-6_19

Rasmussen, J. (1987). The definition of human error and a taxonomy for technical system design. In New technology and human error (p. 23-30).

Summala, H. (2007). Towards Understanding Motivational and Emotional Factors in Driver Behaviour: Comfort Through Satisficing. In Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments (p. 189-207). https://doi.org/10.1007/978-1-84628-618-6_11

Theureau, J. (2006). Le cours d'action : Méthode développée. Octarès.

Vaa, T. (2014). From Gibson and Crooks to Damasio: The role of psychology in the development of driver behaviour models. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 25(PART B), 112-119. https://doi.org/10.1016/J.TRF.2014.02.004

ÉPIQUE 2023 : Symposium 101

CORPS AU TRAVAIL ET ENJEUX DE DURABILITE : APPORTS CONCEPTUELS ET METHODOLOGIQUES.

La commission « Concevoir pour le développement Durable » d'ARPEGE

Organisateur(s)

Cyril Bossard

Université de Bretagne Occidentale, UFR FSSE, CREAD, 20 av. Le Gorgeu, 29200 Brest

cyril.bossard@univ-brest.fr

Adeline Masson

Indigo Ergonomie

adeline.masson@indigo-ergonomie.com

Chloé Le Bail

Université Paris-Saclay, CNRS, Laboratoire Interdisciplinaire des Sciences du Numérique, 91400 Orsay

chloe.le-bail@universite-paris-saclay.fr

Magali Prost

Université de Bretagne Occidentale, UFR FSSE, CREAD, 20 av. Le Gorgeu, 29200 Brest

magali.prost@univ-brest.fr

OBJECTIFS

En 2015, les États membres des Nations Unies ont établi dix-sept objectifs du développement durable (ODD) avec pour chacun des cibles à atteindre à l'horizon 2030[2]. Plusieurs de ces cibles interpellent le lien entre le corps au travail et les enjeux portés par le développement durable. Par exemple, l'objectif 12 « villes et communautés durable » encourage l'usage du vélo ou de la marche pour se déplacer ; les objectifs 14 « vie aquatique » et 15 « vie terrestre » soulignent l'enjeu de préserver les écosystèmes marins et montagneux ce qui questionne la pratique d'activités physiques et/ou sportives nautiques et de montagne. Dans la même idée, plusieurs ODD interpellent le rapport au corps au prisme du développement durable. C'est notamment le cas des objectifs qui concernent les discriminations liées au sexe et à l'identité de genre (objectif 5 « égalité entre sexes ») ou qui concernent l'usure du corps et la préservation de la santé au travail (objectif 8 « travail décent et croissance économique »).

Dans un contexte où l'ergonomie et les ergonomes se saisissent de plus en plus des enjeux du développement durable, des membres de la commission « Concevoir pour le développement durable » d'ARPEGE proposent de mettre en discussion les liens qui existent ou pourraient exister entre le corps et la durabilité. Les questions qui sous-tendent ces liens sont les suivantes : dans quelle mesure la durabilité offre un autre regard sur la pratique sportive et/ou la mise en œuvre du corps au travail, et inversement ? Quels outils conceptuels et méthodologiques pour appréhender cette interrelation ?

[2] https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/

Ce symposium propose d'illustrer et de discuter ces questions. Il accueille cinq contributions qui, à partir de contextes hétérogènes, ont en commun d'interroger le corps en activité dans ses articulations avec différents enjeux du « développement durable ». La notion de développement durable est fréquemment convoquée au prisme de l'écologie. Or ses dimensions sociales et économiques sont incontournables pour appréhender les questions qui nous intéressent ici, de soutenabilité et de transformation du travail, ainsi que d'égalité ou d'équité des personnes et des corps, dans toute leur diversité de sexe et de genre, d'âge, de forme, d'état de santé… Souvent, l'ergonomie s'intéresse au corps quand il va mal : corps abimé, usé ou épuisé, figé ou sur-sollicité, en souffrance ou empêché.

Les présentations contribueront à éclairer différentes mises en œuvre du corps (activité physique, situations intimes, travail, sport) qui soulèvent des questions pour l'ergonomie. Les situations et demandes d'intervention en ergonomie et psychologie du travail évoluent au rythme de prises de conscience sociales et politiques prégnantes, liées notamment à l'écologie, au travail des femmes ou à une meilleure prise en compte des dimensions sensibles de l'activité. Les recherches et la mise en œuvre de nouvelles formes de travail et d'activité (au plan technique, matériel, organisationnel et relationnel) nous projettent dans des situations inédites et en transformation (avant même nos interventions), et impliquent d'innover dans nos modes d'observation et d'accompagnement. L'ergonomie peut ainsi apporter un cadre original aux enjeux de santé, de préservation des ressources, de niveaux d'analyse ou encore de formation des futur.es intervenant.es.

La **première contribution**, présentée par Chloé Le Bail (Université Paris-Saclay), Magali Prost (Université de Bretagne Occidentale) et Marie Chizallet (Université Paris Cité) aborde l'analyse d'un dispositif d'accompagnement participatif mis en place auprès d'un collectif de chercheur.euses et enseignant.es en STAPS en transition vers des préoccupations plus durables de leurs formations.

La **deuxième contribution**, présentée par Gaëtan Bourmaud (Université Paris 8) et Magali Prost (Université de Bretagne Occidentale) interroge, du point de vue de la méthode et dans un cadre d'éco-conception, les façons d'observer le corps en situation intime, mais « sans voir », dans le but de concevoir des urinoirs pour femmes et de contribuer ainsi à faciliter, voire à modifier, « l'activité du *pipi* des femmes ».

La **troisième contribution**, présentée par Steven Le Pape, Thibault Kérivel et Marjorie Bernier (Université de Bretagne Occidentale) s'intéresse à la manière dont les approches systémiques permettent d'analyser les liens entre différents niveaux (individuel, collectif et organisationnel) dans une approche longitudinale. Cette mise en perspective s'appliquera à deux domaines *à priori* distincts : la formation en sport de haut niveau et les dispositifs de promotion de l'AP à des fins de santé.

La **quatrième contribution**, présentée par Christelle Casse (Université Lumière Lyon 2) et Adeline Masson (Indigo Ergonomie) explore une démarche d'intervention visant à accueillir et mobilier par le corps en mouvement la part sensible (sensorielle, émotionnelle, intérieure) de l'activité individuelle et collective afin de mettre aussi en mouvement les situations et organisations de travail.

La **cinquième contribution**, présentée par Sylvain Dugény, Cyril Bossard, Philippe Vacher et Gilles Kermarrec (Université de Bretagne Occidentale) aborde le développement des compétences émotionnelles chez des athlètes de haut niveau comme un nécessaire indicateur de la durabilité des carrières sportives.

Selon le temps et les échanges, la discussion pourrait ouvrir vers des perspectives plus théoriques. Il nous semble en effet que ces différents enjeux d'évolution des situations de travail et d'intervention s'inscrivent dans le cadre de transformations sociétales majeures et nous invitent à réfléchir en termes d'*écologie du travail et de l'activité*.

STRUCTURATION DU SYMPOSIUM

Ce symposium comprend 5 communications. Sur une durée de 120 minutes, sans pause, il se déroulera de la manière suivante : 5 minutes d'introduction, puis 20 minutes par communication (10 minutes d'exposé et 10 minutes de discussion), puis 15 minutes de fil rouge et perspectives.

Communication 1 - LE BAIL Chloé (1), PROST Magali (2) et CHIZALLET Marie (3)

(1) Enseignante-chercheuse - Université Paris-Saclay, CNRS, LISN, Bat. 508, Rue John Von Neumann, 91400 Orsay – chloe.le-bail@universite-paris-saclay.fr ; (2) Enseignante-chercheuse - Université de Bretagne Occidentale - Faculté des Sciences du Sport et de l'Education - magali.prost@univ-brest.fr ; (3) Enseignante-chercheuse - Université Paris Cité - Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées - marie.chizallet@u-paris.fr

Titre : Concevoir un dispositif pour accompagner un collectif d'enseignant.es et chercheurs.euses en STAPS à se saisir des questions de développement durable.

Résumé : Depuis quelques années, une forte préoccupation pour les questions de durabilité dans les formations en STAPS émerge. Concernant le volet recherche, les questions que posent la durabilité en sport sont moins appréhendées compte tenu de la complexité du concept. De quelle manière l'ergonomie (ou les ergonomes) pourrait aider un collectif à se saisir des questions de développement durable pour intégrer ces préoccupations à leurs pratiques ? Trois enseignantes-chercheuses, coordinatrices de la commission « Concevoir pour le Développement Durable » de l'association Arpège, proposent un dispositif d'accompagnement spécifique, inspiré des méthodes de co-conception créatives. Le dispositif est composé de plusieurs ateliers successifs adaptés aux spécificités de l'enseignement et de la recherche en STAPS. Les auteures mettent en avant les temps forts de cette démarche et questionnent certains points/étapes clés à améliorer (p. ex. : enchaînement des ateliers, traits caractéristiques du développement durable via des cartes pour aider à se projeter et à discuter ce concept complexe et controversé, présence d'un animateur tiers spécialiste de la discipline concernée, etc.).

Communication 2 - BOURMAUD Gaëtan (1) et PROST Magali (2)

(1) Enseignant-chercheur - Université Paris 8, Laboratoire Paragraphe, Axe de recherche C3U (Conception, Création, Compétences, Usages) - 2 rue de la liberté 93526 Saint-Denis - gaetan.bourmaud@univ-paris8.fr ; (2) Enseignante-chercheuse - Université de Bretagne Occidentale - Faculté des Sciences du Sport et de l'Education - magali.prost@univ-brest.fr

Titre : Conception d'un urinoir pour femmes : enjeu et défis méthodologiques pour accéder à des données du registre de l'intime

Résumé : La contribution de l'ergonomie à un projet innovant n'est pas exceptionnelle. Ce qui peut l'être davantage, c'est lorsqu'il s'agit de contribuer à la conception d'un dispositif tel qu'un urinoir pour femmes. Si des enjeux de développement durable ont pu avant tout tirer cette recherche-action, telles que des perspectives d'économie d'eau, d'éco-conception, de *low-tech*, etc., ce sont aussi les aspects méthodologiques qui ont constitué à la fois un enjeu et des défis pour le duo mixte d'ergonomes engagé dans ce projet. Comment *observer sans voir* ? Voilà une question de taille que nous nous proposons de traiter, dès lors qu'il s'agit d'analyser l'activité aux toilettes, observée dans plusieurs situations de référence différentes – y compris masculine, avec les urinoirs bien plus ordinaires – comme avec le prototype dans des versions successives. Autrement dit, nous discuterons des méthodes permettant d'accéder aux dimensions corporelles de l'activité du *pipi* des humains.

Communication 3 - LE PAPE Steven (1), KERIVEL Thibault (2) et BERNIER Marjorie (3)

(1) Doctorant (2) (3) Enseignant·e-chercheur·se - Centre de Recherche sur l'Education, les Apprentissages et la Didactique (CREAD) ; Université de Bretagne Occidentale, Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation-steven.lepape@univ-brest.fr

Titre : Questionner la durabilité des systèmes par une approche multiniveau : illustration dans la formation en sport de haut-niveau et la promotion de l'activité physique.

Résumé : Dans la formation en sport de haut niveau (SHN) comme dans la promotion de l'activité physique (AP), les individus, les collectifs et/ou les organisations sont confrontés à des enjeux de durabilité notamment au regard des effets (pendant et après) des dispositifs de formation ou de promotion de l'AP. En adoptant une approche multiniveau, l'objectif de notre communication est d'apporter un regard systémique à la formation en

SHN et à la promotion de l'AP. Plus précisément, il s'agira de présenter en quoi le modèle Sustainable System of Systems (SSoS) (Thatcher & Yeow, 2016) permet de rendre compte des interactions entre différents niveaux dans le temps et ainsi d'identifier des freins et/ou des leviers pour créer des systèmes durables. Ces illustrations permettent de proposer une grille de lecture innovante et inédite dans les domaines du sport et de l'activité physique.

Communication 4 - CASSE Christelle (1) et MASSON Adeline (2)

(1) Enseignante-chercheuse en ergonomie - Institut d'Études du Travail de Lyon (IETL) Environnement Ville Société (EVS) - UMR 5600 – c.casse@univ-lyon2.fr ; (2) Ergonome Consultante - Indigo Ergonomie, Bordeaux – adeline.masson@indigo-ergonomie.com

Titre : Le corps en mouvement pour transformer le travail

Résumé : Le corps est un enjeu central de l'ergonomie. Il est souvent perçu et analysé du point de vue des logiques fonctionnelles du travail : santé, sécurité et efficacité. C'est un corps encadré par les connaissances physiologiques ou biomécaniques et par des méthodologies d'intervention qui privilégient des accompagnements passant par des voies formelles et discursives. Nous proposons une approche complémentaire basée sur l'expérience sensible du corps comme ressource pour transformer l'activité et construire la santé. Comment par le corps comprendre, élaborer, voire résoudre des questions qui se posent au travail, mais également accompagner leur expression, leur élaboration et leur transformation ? Comment accéder à ce qui est incorporé dans et par le travail, à « l'invisible du travail » qui fait corps ? Et en quoi une approche qui propose de mettre le corps en mouvement peut-elle transformer le rapport à soi, aux autres, à l'espace, à l'environnement et au vivant (en soi et autour) ? Pour répondre à ces questions, nous présenterons dans cette communication des exemples tirés d'une intervention conduite avec des professionnels et mobilisant la danse et le Qi Gong en articulation avec des méthodes plus classiques de l'ergonomie.

Communication 5 - DUGENY Sylvain (1), VACHER Philippe (2), KERMARREC Gilles (3) et BOSSARD Cyril (4)

(1) Doctorant (2) (3) (4) Enseignants-chercheurs - Centre de Recherche sur l'Education, les Apprentissages et la Didactique (CREAD) ; Université de Bretagne Occidentale, Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation - prenom.nom@univ-brest.fr

Titre : Développer les compétences émotionnelles des athlètes pour favoriser la durabilité de la carrière sportive professionnelle

Résumé : L'objectif de cette communication est d'alimenter la réflexion sur la performance durable, sous l'angle de la durabilité de la carrière sportive professionnelle. Non durable par essence, car souvent courte, elle est sous-tendue par des niveaux élevés d'exigences physiques et psychologiques pour les athlètes, accentuant ainsi certains risques physiques (e.g., blessures) et/ou psychosociaux (e.g., burnout). A court terme, la durabilité de la carrière questionne les ressources fournies aux athlètes professionnels pour atténuer les effets de ces exigences. Envisagée à plus long terme, elle pose la question de l'anticipation de la fin de carrière et de la transférabilité de ressources ou de compétences acquises au cours de la carrière sportive dans d'autres domaines. Le développement des compétences émotionnelles des athlètes (i.e., la conscience et la gestion de ses propres émotions et de celles des autres) semble intéressant pour répondre à ce double enjeu. Nous présenterons des travaux montrant qu'elles entretiennent des liens avec la performance individuelle ou collective, avec des indicateurs de durabilité de la carrière sportive, et qu'elles constituent des habiletés de vie bénéfiques en dehors ou après la carrière sportive.

Proposition d'un dispositif pour accompagner un collectif d'enseignants-chercheurs en Sciences du Sport à se saisir des enjeux du développement durable.

Chloé Le Bail[1], Magali Prost[2] & Marie Chizallet[3]

[1]Université Paris-Saclay, CNRS, LISN, chloe.le-bail@universite-paris-saclay.fr

[2]Université de Bretagne Occidentale, UFR FSSE, CREAD, magali.prost@univ-brest.fr

[3]Université Paris Cité, LAPEA, marie.chizallet@u-paris.fr

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, une forte préoccupation pour les questions de durabilité émerge dans les universités françaises. Cette communication présente un dispositif visant à accompagner un collectif d'enseignants-chercheurs en Sciences du Sport dans sa volonté de construire des projets de recherche et de formation qui intègrent les enjeux du développement durable. Le dispositif repose sur différents travaux en ergonomie qui permettent d'envisager un ensemble de caractéristiques pertinentes pour se saisir de ces enjeux. Il est composé de quatre ateliers successifs qui visent l'ancrage dans des expériences vécues et la projection vers des thèmes de travail originaux. La communication met en avant les temps forts du dispositif et discute certains points clés à améliorer pour permettre aux participants de se projeter davantage vers des intentions d'action futures.

MOTS-CLÉS

Dispositif d'accompagnement ; Développement durable ; Conception ; Transmission ; Sciences du Sport

1. INTRODUCTION

Cette communication s'inscrit dans la préoccupation actuelle des universités françaises (tant des institutions que des personnels) pour la question du Développement Durable (DD), ce qui interroge notamment le rôle des différentes disciplines universitaires dans la réalisation des Objectifs de Développement Durable[3] (ODD). Nous présentons un dispositif visant à accompagner un collectif d'enseignants-chercheurs en Sciences du Sport dans sa volonté de construire des projets de recherche et de formation focalisés sur la question du DD. En effet, comme le rapporte le Bureau des Nations Unies pour le sport au service du développement et de la paix (UNOSDP), le sport contribue à plusieurs ODD dans la mesure où il promeut la paix, la santé, l'égalité des sexes, la lutte contre les discriminations et l'apprentissage tout au long de la vie. La question générale traitée dans cette communication est la suivante : de quelle manière l'ergonomie pourrait aider un collectif d'enseignants-chercheurs en Science du Sport à intégrer les enjeux du DD dans ces pratiques de recherche et d'enseignement ?

La posture d'accompagnement que nous - les trois autrices de cette communication - revendiquons est celle d'intervenante facilitatrices. Cette posture vise à soutenir la dynamique de changement des accompagnés qui explorent une situation difficile ou problématique, et/ou qui vivent des moments de positionnement, d'orientation, de choix ou de prise de décision (Paul, 2009). Il s'agit de nous positionner comme praticiennes capable d'expliciter et de formaliser notre propre savoir (ici lié au DD, cf. infra) et notre propre pratique, en permettant aux accompagnés d'utiliser ce savoir comme ressource pour penser par eux-mêmes et concevoir pour eux-mêmes. Ainsi notre dispositif repose sur différents travaux en ergonomie que nous connaissons et mobilisons lors de nos recherches

[3] https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/

et interventions, et qui selon nous permettent d'envisager un ensemble de caractéristiques pertinentes pour se saisir des enjeux du DD. D'abord, nous présentons cet appui théorique au cœur de notre dispositif. Puis nous présentons la mise en œuvre et l'analyse du dispositif. Pour finir nous discutons des avantages et des limites du dispositif pour permettre aux participants de se projeter dans des intentions d'action futures relativement à leur expérience vécue.

2. APPUI THEORIQUE QUI SOUTIENT LE DISPOSITIF D'ACCOMPAGNEMENT

Nous avons formalisé un ensemble de caractéristiques mobilisées en ergonomie lorsqu'il s'agit d'intervenir dans un contexte de DD (Tableau 1). Cette caractérisation repose majoritairement sur les travaux des membres de la commission « Concevoir pour le Développement Durable » d'ARPEGE et sur des réflexions internes à cette commission. Elle englobe une diversité d'objets de recherche et d'intervention en ergonomie, ainsi qu'une hétérogénéité de domaines et secteurs d'activité.

Nous avons relevé un ensemble de 11 caractéristiques à partir des travaux de la commission et de la littérature dans le champ du DD. Il constitue un point fort de notre dispositif puisqu'il établit « notre » socle de savoirs et pratiques que nous souhaitons transmettre aux accompagnés avant de les laisser se les approprier. Les caractéristiques ont été formalisées sous forme de cartes (Tableau 1).

Tableau 1 : caractéristiques du DD (CDD) retenues pour la conception du dispositif.

Caractéristique	Définition	Exemples de références	Carte
Transition	Mouvement qui conduit les systèmes, les collectifs et les individus d'une situation à une autre	Coquil, Dedieu et Béguin (2017) ; Prost, Prost et Cerf (2017)	
Expérimentation	Travail de conception qui vise à trouver et tester des alternatives pour un contexte donné	Chizallet, Prost et Barcellini (2019) ; Slimi, Prost, Cerf et Prost (2021)	
Temporalités	Prise en compte des temporalités et des temps multiples ; analyse diachronique de l'activité	Zara-Meylan (2016) ; Guibourdenche (2020)	
Approche systémique	Prise en compte de l'enchevêtrement des échelles sociales, politiques, techniques, géographiques et culturelles	Le Bail, Cerf et Yannou-Le Bris (2021) ; Chizallet, Barcellini et Prost (2023)	
Territoire	Une échelle d'action déterminée par le projet d'acteurs hétérogènes qui participent à le (re)configurer	Boudra, Béguin, Delecroix et Pueyo (2019) ; Le Bail et al. (2021)	
Sobriété	Expérience vécue d'une consommation raisonnée de produits, services et technologies	Fréjus (2021) ; Colin et Brangier (2022)	
Effets et Externalités	Conséquences qu'un système, produits ou service peut avoir sur l'environnement et les individus en lien avec son cycle de vie	De Gasparo, Le Dilosquer, Hubault et Sznelwar (2018)	
Ressources alternatives	Anticiper la raréfaction des ressources et comprendre l'usage des différentes formes de ressources par les acteurs	Bourmaud (2018)	
Sens & Valeurs	Sens donné par les individus et les collectifs ; systèmes de valeurs qu'ils mobilisent	Monéger et al. (2018) ; Le Bail, Baker et Détienne (2022)	
Justice sociale & Inclusion	Prise en compte des situations d'inégalité ou des discriminations sous ses différentes formes	Cunha, Nogueira et Lacomblez (2014) ; Nascimento, Bravo et Flamard (2019)	
Pluridisciplinarité	Croiser les regards en allant chercher d'autres disciplines scientifiques et en créant de nouvelles collaborations entre chercheurs et/ou intervenants	Slimi et al. (2021) ; Le Bail et al. (2021)	

3. MISE EN ŒUVRE DU DISPOSITIF ET ANALYSE

Le dispositif a été mis en œuvre auprès d'un collectif d'enseignants-chercheurs en Sciences du Sport au sein d'une université française située en Bretagne. Ce collectif se compose de 7 enseignants et 16 enseignants-chercheurs ou doctorants, volontaires pour participer à la journée d'accompagnement. Les 23 participants sont de différentes spécialités : éducation et motricité ; sciences de l'éducation ; performance sportive ; et management du sport et sport adapté.

3.1. Conception du dispositif

Le dispositif a été conçu par trois enseignantes-chercheures en Ergonomie et Sciences de l'Education, autrices de cette communication. Une analyse du public a été réalisée en amont de la journée pour : 1) sonder les professionnels intéressés par ce type d'accompagnement (intérêts, besoins, attentes), et 2) recueillir les thèmes de recherche et d'enseignement de ces professionnels. Pour cela, il a été convenu qu'un membre du collectif fasse le « relai » entre les conceptrices et

animatrices de la journée et le collectif, pour diffuser des informations, construire la demande avec l'équipe, identifier le temps disponible des participants et organiser la journée (logistique, durée, matériel nécessaire, rôle). Finalement, la journée s'organise par un enchaînement de 4 ateliers collectifs pensés successivement avec des intentions spécifiques pour chacun d'entre eux. L'animation du dispositif a été travaillée de sorte à favoriser un apport de connaissances sur les 11 CDD formalisées sous forme de cartes mobilisables par les participants, et positionner les participants comme les concepteurs de leur travail (Béguin et Darses, 1998) en leur permettant de développer une activité de conception des intentions d'action, et de mobiliser pour cela des expériences vécues.

3.2. Le dispositif dans son ensemble

Pour chaque atelier, le Tableau 2 présente : 1) les intentions des conceptrices et intervenantes/ facilitatrices, 2) les modalités de l'atelier et les consignes données aux participants pour soutenir leurs réflexions prenant la forme d'activité de conception (proposition, évaluation), et 3) les productions matérielles des groupes affichées sur une grande frise fixée sur l'un des murs de la salle de sorte à ce que les participants puissent s'y référer à tout moment.

Tableau 2 : présentation des 4 ateliers et exemples de productions.

Atelier	Intentions des conceptrices	Modalités et consignes données au participants	Exemples de productions
Atelier 1 **D'où vient-on ?**	• Décrire des parcours ancrés dans des expériences vécues en lien avec le DD • Faire verbaliser les préoccupations liées au DD et notamment les valeurs importantes pour chacun • Favoriser l'interconnaissance	Activité collective de 25 minutes. Par groupes de 7-8 personnes, expliquez votre parcours lié au DD : comment le DD est apparu comme intérêt ? Quelles évolutions depuis ? Quels besoins ou attentes ? Une animatrice est présente pour prendre des notes, veiller au respect du temps et faire la restitution.	
Atelier 2 **Où en est-on ?**	• Apporter un socle de connaissances minimales sur ce qu'est le DD • Présenter les onze cartes caractéristiques • Faire émerger des idées de thèmes de recherche / enseignement liés au DD • Confronter les représentations des participants concernant le DD	Présentation par les animatrices des origines, définitions et caractéristiques du DD (30 min.). Puis activité individuelle où chacun réfléchit aux thèmes de recherche et/ou d'enseignement qu'il souhaiterait travailler sous l'angle du DD, et note chaque idée sur un post-it (10 min.). Puis durant une pause-café, chacun va coller ses post-it sur un mur prévu à cet effet et vote pour le ou les thème(s) qu'il souhaite retenir à l'aide de 3 gommettes qu'il a sa disposition (20 min.). A ce moment-là, des groupes de travail thématiques de 5-6 personnes sont créés pour poursuivre les ateliers 3 et 4.	
Atelier 3 **Où va-t-on ?**	• Faire réfléchir les participants aux liens entre le thème choisi et les onze cartes caractéristiques • Susciter le dialogue entre les participants, favoriser les échanges et l'argumentation • Recherche de consensus dans le groupe pour le choix des cartes à garder pour le thème à traiter	Activité individuelle où chacun sélectionne 3-4 cartes qui lui semblent importantes pour le thème (5 min.). Puis activité collective où chaque membre du groupe explique aux autres la manière dont il envisage les cartes. L'objectif pour le groupe est de sélectionner collectivement les cartes priorisées pour le thème à traiter (40 min.).	
Atelier 4 **Et après ?**	• Produire collectivement des intentions d'actions pour participer au DD dans le domaine des Sciences du Sport (recherche et formation) • Représenter visuellement des intentions d'action • Restituer à l'ensemble des groupes	Première activité collective où le groupe produit des intentions d'actions concrètes (objets de recherche/enseignement, contenus, projets…) en reprenant la production de l'atelier 3 (40 min.). Deuxième activité collective où le groupe restitue les intentions d'action sous forme d'une synthèse orale (3 min.). Le format de la présentation est libre, du matériel est à disposition.	

3.2.1. Atelier 1 « D'où vient-on ? Trajectoires personnelles du développement durable »

Cet atelier « brise-glace » a permis à l'ensemble des participants de s'exprimer individuellement sur son propre cheminement dans le DD. Trois points ont été abordés.

1) Comment le DD est apparu comme intérêt ? Les participants abordent des aspects personnels tels que des expériences (ex : voyage au Québec qui a entrainé une réflexion sur la façon de s'alimenter face aux prix élevé de la viande), des actions mises en œuvre (ex : se déplacer à vélo), des observations (ex : absence de coquelicots dans les champs), des questionnements, des émotions (ex : choqué par la

dégradation de la nature liée au plastique), une transmission (ex : sensibiliser ses enfants) et des préoccupations (ex : gestion de l'eau). Ils abordent aussi le versant professionnel par des actions mises en œuvre (ex : introduction de cours en licence portant sur le sport et le DD).

2) Quelles évolutions depuis ? Les participants notent une prise de conscience des effets de l'activité humaine sur l'environnement, des actions mises en œuvre (ex : recherche de ressources locales) et un élargissement des préoccupations pour l'environnement.

3) Quels besoins ou attentes vis-à-vis du DD ? Les participants souhaitent donner du sens au DD, trouver des alternatives « naturelles », concevoir des situations qui favorisent le DD et accompagner des individus à le faire. Ils souhaitent « passer à l'action » (individuellement et collectivement), intégrer davantage le DD dans les enseignements et/ou poursuivre des actions déjà initiées. Ils disent avoir besoin de méthodes pour étudier, transmettre et prendre en compte le DD dans leur travail.

Chaque intervenante/facilitatrice prenait des notes des échanges au sein d'un groupe et en faisait une courte restitution à l'ensemble des accompagnés à la fin de l'atelier. Les notes ainsi produites étaient affichées sur une première partie de frise, sur l'un des murs de la salle.

3.2.2. Atelier 2 « Où en est-on ? Emergence d'idée de thèmes de recherche et/ou d'enseignement »

Cet atelier a permis à l'ensemble des participants de s'exprimer individuellement sur les thèmes de recherche et/ou enseignement qu'ils souhaiteraient travailler sous l'angle du DD. Il a aussi permis aux membres du collectif de converger vers des thèmes originaux qui pourraient être travaillés par le collectif : 1) Urbanisation et mobilités douces, 2) Sport, territoire et aménagement, 3) Performance durable, et 4) Créativité de l'agir. Quatre groupes ont ainsi été créés pour les ateliers 3 et 4.

3.2.3. Atelier 3 « Où va-t-on ? Affiner les idées avec les caractéristiques du développement durable »

Cet atelier a permis à chaque groupe de caractériser son thème du point de vue des 11 cartes CDD. Les participants de chaque groupe se sont mis d'accord sur les caractéristiques qu'ils pressentaient pour leur thématique. Deux groupes ont mobilisés l'ensemble des cartes mis à leur disposition et deux groupes ont mobilisé seulement une partir des cartes. Cela a permis de mettre à l'épreuve les 11 CDD proposées. Un point intéressant est de voir que les participants se sont appropriés les cartes en les associant pour construire du sens sur le thème choisi (p.ex. « territoire » et « transition » pour évoquer l'urbanisation et mobilités douces). Des échanges quant aux conflits de contraintes ont émergé (p. ex. la nécessité de mener des recherches sur un temps long pour en observer les effets *vs.* les durées de leur financement qui sont beaucoup plus courtes).

3.2.4. Atelier 4 « Et après ? Intentions concrètes »

Cet atelier a permis à chaque groupe de créer une représentation matérielle de ses intentions d'action. Trois groupes ont proposé des posters et un groupe a proposé une version « cocotte en papier ». Par ailleurs, trois groupes ont utilisé à la fois l'écriture (différentes polices, couleurs) et les cartes caractéristiques du DD, et un groupe a utilisé l'écriture et des mots découpés dans des magazines. Enfin, le groupe « Urbanisation et mobilités douces » a renommé son thème « Accompagnement au changement : les mobilités douces » et le groupe « Sport, territoire et aménagement » a construit sa proposition sur la représentation du territoire de la Bretagne en mobilisant une carte géographique et des gommettes pour identifier les villes du territoire. Différents projets ont émergé (p. ex. une recherche à mener sur la performance durable de sportifs de haut niveau, intégrant la relation avec l'entraineur mais aussi le cercle amical et familial pour que les différentes sphères de vie soient prises en compte).

4. DISCUSSION

Le dispositif présenté ici vise à permettre aux enseignants-chercheurs en Sciences du Sport de concevoir des projets de recherche et d'enseignement qui intègrent les enjeux du DD. Pour cela, il permet de revenir sur des expériences, relativement aux préoccupations qui les animent le jour de la

mise en œuvre du dispositif, pour penser des actions futures. Cependant, construire un dispositif pour soutenir, à un instant *t*, l'activité de conception de ces travailleurs implique, selon nous, de penser la temporalité de ce processus à deux niveaux : à la fois individuel (processus propre à un travailleur) et collectif (processus dans lequel seraient impliqués plusieurs travailleurs). Nous pensons que le dispositif permet à ces deux temporalités de se croiser. Par exemple, il est demandé aux participants dans l'atelier 1 de revenir individuellement sur comment ils en sont arrivés à s'intéresser au DD, en lien avec une trajectoire du passé vers le présent. Un autre exemple, il est demandé aux participants dans l'atelier 4 quelles actions collectives pourraient être mises en œuvre pour participer au DD. Si ces deux temporalités apparaissent bien dans la construction du dispositif, elles pourraient être davantage exploitées dans les ateliers. Le dispositif pourrait permettre l'explicitation plus précise par les participants de ce qui a déjà été construit collectivement en lien avec le DD au sein d'une équipe ou d'un laboratoire. Dans ce sens, le dispositif pourrait avoir un ancrage plus fort dans sa volonté de faire émerger une activité réflexive chez les participants dans l'objectif de soutenir la projection des participants dans des actions futures. Ainsi, Mollo et Nascimento (2013) mentionnent plusieurs règles nécessaires au déploiement d'une activité réflexive : celle-ci doit être orientée sur le réel de l'activité et avoir lieu au sein d'un collectif stable de façon régulière. Elle doit être reconnue et facilitée au sein de l'organisation. Enfin, cette activité doit permettre de répondre à des problématiques rencontrées par les travailleurs, et les solutions envisagées doivent être évaluées. Il semblerait alors nécessaire (1) que le dispositif permette aux participants de convoquer l'activité afin que les échanges entre pairs s'ancrent davantage sur le travail réel et (2) de penser la suite et la pérennité du dispositif.

5. BIBLIOGRAPHIE

Béguin, P., & Darses, F. (1998). Les concepteurs au travail et la conception des systèmes de travail : points de vue et débats. *Communication invitée présentée aux II^e^ Journées « Recherche et ergonomie »*. Toulouse, France, février.

Boudra, L., Beguin, P., Delecroix, B., & Pueyo, V. (2019). Prendre en compte le territoire dans la prévention des risques professionnels. Le cas du travail de tri des emballages ménagers. *Le travail humain, 82*(2), 99-128.

Bourmaud, G. (2018). For systemic approaches to permaculture: results and opportunities for thinking about sustainable development. In *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 985-990). Springer, Cham.

Chizallet, M., Prost, L., & Barcellini, F. (2019). Comprendre l'activité de conception d'agriculteurs en transition agroécologique : vers un modèle trilogique de la conception. *Psychologie française, 64*(2), 119-139.

Chizallet, M., Barcellini, F., & Prost, L. (2023). Sustainable system of systems at work: unravelling (some of) the complexity of farmers' transition to sustainability. *Ergonomics*.

Colin, C., & Brangier, E. (2022). The ergonomics of shareable things: from a synthesis of historical sharing activities to a set of criteria for physical sharing experiences. *Theoretical Issues in Ergonomics Science, 23*(1), 1-24.

Cunha, L., Nogueira, S., & Lacomblez, M. (2014). Beyond a man's world: contributions from considering gender in the study of bus drivers' work activity. *Work, 47*(4), 431-440.

De Gasparo, S., Le Dilosquer, P. Y., Hubault, F., & Sznelwar, L. I. (2018). When Creativity Meets Value Creation. A Case Study on Daytime Cleaning. In *Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 991-996). Springer, Cham.

Fréjus, M. (2021). Designing Sustainable Situations. In *Proceedings of the 21st Triennial Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 521-529). Online, 13-18 June.

Guibourdenche, J. (2020). Modélisation synthétique quantitative de plusieurs années d'activité. Quelle articulation entre signification en situation et complexité longitudinale ? *Activités, 17*(2).

Le Bail, C., Baker, M., & Détienne, F. (2022). Values and argumentation in collaborative design. *CoDesign, 18*(2), 165-185.

Le Bail, C., Cerf, M., & Yannou-Le Bris, G. (2021). La relocalisation des systèmes alimentaires dans les territoires : quel cadre d'analyse en ergonomie. Une étude de cas sur le plateau de Saclay. *Activités, 18*(2).

Mollo, V., & Nascimento, A. (2013). Pratiques réflexives et développement des individus, des collectifs et des organisations. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie constructive* (pp. 207-221). Paris : PUF.

Monéger, F., Coutarel, F., Motak, L., Chambres, P., Izaute, M., & Dhome, M. (2018). L'expérience vécue et les valeurs en acte des accompagnants pour la conception d'un service de transport par navettes destinées à être autonome. *Activités, 15*(1).

Nascimento, A., Bravo, N. C., & Flamard, L. (2019). Penser l'intersectionnalité en ergonomie, prendre en compte les rapports sociaux dans l'activité. In *Actes du 54ème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française*. Tours, 25-27 septembre.

Paul, M. (2009). L'accompagnement dans le champ professionnel. *Savoirs, 20*(2), 11-63.

Prost, M., Prost, L. & Cerf, M. (2017). Les échanges virtuels entre agriculteurs : un soutien à leurs transitions professionnelles ? *Raisons éducatives, 21*, 129-154.

Slimi, C., Prost, M., Cerf, M., & Prost, L. (2021). Exchanges among farmers' collectives in support of sustainable agriculture: From review to reconceptualization. *Journal of Rural Studies, 83*, 268-278.

Zara-Meylan, V. (2016). Quelles conceptions temporelles pour analyser l'activité ? Une proposition issue de recherches en ergonomie dans l'horticulture. *Activités, 13*(1).

Conception d'un urinoir pour femmes : enjeu et défis méthodologiques pour accéder à des données du registre de l'intime

Gaëtan Bourmaud[1] & Magali Prost[2]

1- Université Paris 8 : gaetan.bourmaud@univ-paris8.fr

2- Université de Bretagne Occidentale : magali.prost@univ-brest.fr

RÉSUMÉ

La contribution de l'ergonomie à un projet innovant n'est pas exceptionnelle. Ce qui peut l'être davantage, c'est lorsqu'il s'agit de contribuer à la conception d'un dispositif tel qu'un urinoir pour femmes. Si des enjeux de développement durable ont pu avant tout tirer cette recherche-action, telles que des perspectives d'économie d'eau, d'éco-conception, de low-tech, etc., ce sont aussi les aspects méthodologiques qui ont constitué à la fois un enjeu et des défis pour le duo mixte d'ergonomes engagé dans ce projet. Comment observer sans voir ? Voilà une question de taille que nous nous proposons de traiter, dès lors qu'il s'agit d'analyser l'activité aux toilettes, observée dans plusieurs situations de référence différentes – y compris masculine, avec les urinoirs bien plus ordinaires – comme avec le prototype dans des versions successives. Autrement dit, nous discuterons des méthodes permettant d'accéder aux dimensions corporelles de l'activité du pipi des femmes, et des hommes.

MOTS-CLÉS

Conception. Genre. Observation. Méthodes. Intimité.

1. INTRODUCTION

Cette communication présente la participation de deux ergonomes à un projet de conception d'un urinoir pour femmes. Si les urinoirs pour hommes ont depuis longtemps trouvé leur place dans la cité, l'équivalent féminin est inexistante et peut sembler saugrenue. Pourtant, proposer aux femmes une solution uniquement « pour faire pipi » comporte plusieurs enjeux (égalité Femmes/Hommes, réduction du temps d'attente aux toilettes, réduction de la quantité d'eau, etc.). On pourrait alors se questionner sur l'inexistence d'un tel dispositif jusqu'alors. Différentes lectures peuvent être proposées, dont la plupart s'appuient sur les rapports de domination de l'homme sur la femme et l'intériorisation des rôles. Basés sur une différence anatomique, le système binaire construit – hommes/femmes – est insidieusement passé des différences biologiques à des différences culturelles, une illustration notable est celle des toilettes pour hommes/femmes. Ces rapports de domination se sont socialement inscrits dans les routines et rituels privés et collectifs. La confusion entretenue entre le sexe biologique et le sexe social est mis en lumière par la notion de « genre », notion travaillée en ergonomie par Karen Messing et ses collègues (cf. par exemple, Messing et Chatigny, 2004). L'organisation des toilettes publiques n'échappe pas aux rapports de domination. On constate très tôt une séparation des hommes et des femmes « en ce qui concerne la question des déchets et de leur élimination », et les femmes doivent ainsi bénéficier d'agencements et d'éléments de confort supérieurs traduisant une identité de genre (Goffman, 2002, p. 157). On retrouve ici les questions d'invisibilité des difficultés et plus généralement de dimension cachée du genre. L'offre de toilettes masculins surplombe largement celles destinées aux femmes (exemple de l'Angleterre où une loi datant de 1975 donnait, en termes de toilettes, plus de choix aux hommes qu'aux femmes). Cette

problématique s'avère centrale pour de nombreux pays en émergence, ne possédant pas encore de toilettes publiques. Greed (2014) montre que les femmes de certains pays s'auto-excluent de la sphère publique, notamment l'école pour les plus jeunes, en raison de l'arrivée des menstruations, lorsqu'il n'y a pas de sanitaires adéquats. Damon (2009) prône à ce propos pour un "droit de pisser" pour les femmes et propose un programme d'action GPS, pour Gratuité, Propreté & Sécurité.

Ainsi, la conception d'un urinoir pour femmes présente certainement plusieurs spécificités (Prost & Bourmaud, 2020). Il va s'agir d'abord d'exposer brièvement le contexte particulier dans lequel cet urinoir pour femmes a pris place, balayant tout à la fois ses dimensions sociétale, culturelle et historique, économique et écologique. Ensuite, et c'est l'objet central de ce papier, nous présenterons de la méthodologie déployée par le duo mixte d'ergonomes engagé dans ce projet pour « approcher » l'activité « faire pipi » des usagères. En discussion, avant de conclure, nous discuterons ces aspects méthodologiques, en identifiant les limites mais en mettant en avant aussi les opportunités pour lever les contraintes évidentes rencontrées lors de nos observations.

2. DIMENSIONS METHODOLOGIQUES POSEES PAR LE PROEJT

Nous – deux ergonomes, une femme et un homme – avons pu être associés très tôt à la réflexion sur la solution d'un urinoir pour femmes. Notre participation, financée par l'entreprise, consistait à travailler à différents moments de la conception, en collaboration avec la direction et une équipe de designers. Cela constituait ainsi selon nous une double mission :

- échanger très en amont avec la porteuse du projet et d'engager des études exploratoires, pour ainsi infléchir les choix premiers de conception, avant même la fabrication du premier prototype ;
- ouvrir une réflexion large sur les aspects méthodologiques pour « approcher » l'activité « faire pipi » des usagères, pour « l'observer sans voir » lors du déploiement du prototype pendant des événements sportifs et culturels et faire ainsi remonter les contraintes observées

2.1. Différentes sources d'appui

2.1.1. Appui sur la littérature et des principes de conception

La première étape a consisté à faire un état de l'art historique, sociologique et technique des toilettes constitutif d'un « manifeste pour un urinoir pour femmes » dont nous donnons quelques éléments ci-après.

Les propositions de toilettes faites aux hommes sont anciennes et variées. On trouve par exemple les vespasiennes parisiennes, instaurées en 1840, ensuite remplacées en 1980 par les sanisettes. Les femmes, qui jusqu'alors n'ont pas de possibilités de toilettes publiques, se voient offrir un accès, mais non gratuit. En effet, les femmes doivent payer pour la propreté et pour être protégées, des regards, voire des atteintes physiques (Blidon, 2005). Par ailleurs, le nombre de toilettes pour les hommes est plus important que celui pour les femmes. Une exception est faite récemment dans des universités nord- américaines dans lesquelles des étudiantes ont milité et réussi à imposer un ratio de 2 toilettes féminines pour 1 masculine. Notons également que la conception des urinoirs est systématiquement basée en référence au genre masculin, selon ses codes, critères, valeurs, ou supposés comme tels. Les propositions faites aux femmes le sont ainsi en référence – stricte, voire caricaturale – aux hommes, et à la possibilité de « pisser debout » comme le nom de l'objet l'indique explicitement (Figure 1).

Le gain de temps apparait un enjeu important pour réduire les files longues d'attente des femmes. Contrairement à une idée répandue, celles-ci sont plus longues non pas parce que les femmes mettent plus de temps, mais parce que les femmes n'ont pas de toilettes « service rapide »

(uniquement « pour faire pipi ») comme c'est le cas pour les hommes (source madamePee). L'urinoir (pour hommes) permet de servir 7 fois plus d'usagers qu'une toilette fermée, le gain de temps d'un urinoir est de 3 fois celui d'une toilette fermée. De même, les urinoirs permettent un gain d'espace notable : 40% de plus d'urinoirs dans un même espace. Ainsi, les femmes qui n'ont pas les mêmes alternatives de toilettes que les hommes, subissent des durées d'attentes en moyenne 34 fois supérieures à celle des hommes. La solution des urinoirs pour femmes de madamePee, tient au souhait de permettre aux femmes de disposer des mêmes droits que les hommes, en ce qui concerne les besoins fondamentaux. Cela s'inscrit plus largement dans une volonté d'émancipation des femmes et d'une proposition écologique. Cet urinoir doit en effet constituer tout à la fois une solution (1) complémentaire et alternative aux propositions actuelles faites aux femmes en termes de toilettes ; (2) uniquement « pour faire pipi » ; (3) de masse, pour de forts volumes ; (4) proposant une position proche de la position naturelle et habituelle pour les femmes « pour faire pipi » ; (4) sans consommation d'eau ; (5) avec une gestion spécifique de l'urine ; (6) et avec une gestion différenciée du déchet papier.

Figure 1 : Solution du « pisse-debout » pour femmes.

2.1.2. Appui sur la situation de référence « urinoirs pour hommes »

Les urinoirs pour hommes, solution très banalisée, constituaient une solution pertinente et comparable, à analyser autour de la fonction « pour faire pipi seulement ». Au-delà de dimensions techniques et fonctionnelles, des données de type relationnel, telles que les proximité/distance entre usagers, les effets de l'affluence sur cette tension, le choix de l'urinoir *versus* la cabine fermée, etc. ont pu être notamment relevées (comme peut l'illustrer par exemple la Figure 2, non sans une pointe d'humour), et discutées à l'aune d'un usage futur d'un urinoir par des femmes.

Figure 2 : Quelques règles pour l'usage d'un urinoir (pour hommes).

2.1.3. Appui sur les prototypes de l'urinoire pour femmes

Figure 3 : Prototype permettant d'observer et analyser l'activité simulée.

Puis, nous avons contribué à un semble de tests simulant l'activité du faire pipi, sur la base de différentes solutions *low tech* (en papier, en carton, etc.) proposées par une équipe de designers. Le premier prototype retenu a été testé dans un *show-room*, permettant notamment d'aller plus loin sur l'observation de l'activité simulée (Figure 3).

Cette phase a notamment permis de mettre en évidence des enchainements / séquences d'actions permettant de préparer une méthode d'observation. Ces séquences (détaillées dans la section suivante) ont été affinées grâce à des observations et entretiens de l'utilisation des urinoires par des testeuses volontaires.

2.2. Construction des outils méthodologiques

2.2.1. Grille d'observation

Une grille d'observation a été conçue, mettant particulièrement l'accent sur l'activité des usagères des urinoires madamePee. Les 7 séquences d'actions identifiées et retenues pour les observations lors des essais sur le prototype sont les suivantes :

- Séquence 1 (S1) : le choix des alternatives de toilettes, par exemple toilettes ordinaires (dans une cabine), toilettes turques, toilettes sèches, etc. ;
- Séquence 2 (S2) les attitudes dans la file d'attente aux urinoires et principalement la prise d'informations à distance sur les uinoires ;
- Séquence 3 (S3) la sélection de l'un des différents urinoires proposés ;
- Séquence 4 (S4) le choix de la position pour la miction et déshabillage ;
- Séquence 5 (S5) la position lors de la miction ;
- Séquence 6 (S6) de la fin de la miction, à l'utilisation du papier toilette, jusqu'au rhabillage (S6) ;
- Séquence 7 (S7) la sortie de l'urinoire et dégagement de la zone toilettes (S7).

Pour chaque séquence, nous avons particulièrement observé les regards, les mouvements de tête et les déplacements.

2.2.2. Guide d'entretien

Nous avons mené différents entretiens informels « à la volée » auprès de femmes usagères-cibles, afin de comprendre les enjeux sous-jacents à l'activité « faire pipi uniquement ». Les questionnements étaient liés aux séquences observées, aux critères de satisfaction, à l'expérience des urinoires et aux raisons du refus d'utilisation lorsque c'était le cas. Des dizaines de femmes ont donc été interrogées lors de chaque manifestation. Les données étaient ainsi consignées de 2 manières : par écrit sur un carnet et par oral sur un dictaphone juste après l'échange, afin de ne pas oublier les expressions exactes des usagères interrogées. Notons qu'alors beaucoup des retours pointaient les enjeux vestimentaires (jupe/robe *versus* pantalon), les limites et inconvénients d'une stricte copie de la posture masculine « faire pipi debout », alors même qu'il était discuté de « faire pipi uniquement », une confusion évidente apparaissait ainsi questionnant les informations quant à la posture. Ces entretiens ont permis de lever un des principaux freins à l'usage des urinoires pour femmes à savoir la crainte de la position debout. Nous avons ainsi proposé à la porteuse de projet d'enrichir le prototype d'informations visuelles permettant aux usagères de comprendre que la position adéquate pour utiliser les urinoirs proposés est sensiblement la même que celle des toilettes classiques et non une position debout comme les hommes. Afin de palier ce premier frein, nous nous sommes servis des séquences d'actions identifiés pour proposer à la porteuse de projet d'enrichir son prototype d'informations visuelles pertinentes mises au bon endroit dans l'enceinte des toilettes. Par exemple, un pictogramme indiquant la position squat/semi-assise a été ajoutée à l'extérieur des toilettes permettant ainsi aux femmes de comprendre la position attendue lors de la file d'attente ; une information textuelle a été ajoutée dans l'enceinte de l'urinoire pour indiquer où le papier toilette doit être jeté, etc.

2.3. Recueil de données en situations réelles : observations et entretiens

Une fois nos outils méthodologiques testés et validés, nous avons réalisé des observations et des entretiens lors de différents tests en situations réelles (Figure 4), au cours, tour à tour d'une course à pieds organisée au bois de Boulogne à Paris, du salon professionnel Vivatec (Parc des expositions-Paris), de la coupe du monde de Football féminin (USA/Angleterre) dans la fan zone des Halles à Paris, de ParisPlage, sur le canal près de la Villette (Paris), de plusieurs festivals de musique comme Solidays (Boulogne), welovegreen (Vincennes) et helfest (Nantes).

Figure 4 : Situations réelles observées.

Nos observations portaient sur différents points spécifiques, à différentes échelles :

- l'infrastructure : implantation des urinoires dans l'enceinte globale de la manifestation ;
- l'implantation des urinoires au sein de l'enceinte toilettes.

Pour ces 2 points, il s'agissait de cartographier le territoire et d'y observer l'activité des usager.es en termes de circulation, parcours et cheminements.

- l'analyse de l'activité des usagères des toilettes tel que développé plus haut à partir des séquences.

Une répartition genrée des séquences d'observations et de questionnements aux usagères, a été faite entre nous – ergonome femme et ergonome homme – en fonction de la proximité socialement acceptable aux urinoires, et du degré d'intimité des questions :

- Séquences S1, S2, S3, S7 : Ergonome Homme ;
- Séquences S4, S5, S6 : Ergonome Femme.

3. DEFI METHODOLOGIQUE : OBSERVER SANS VOIR

L'objet de cette communication n'est pas de présenter les résultats du travail mené, visant à accompagner la conception de l'urinoire, que l'on pourrait décrire comme autant de repères pour la conception (Prost & Bourmaud, 2020), touchant par exemple (1) l'importance de l'agencement de la zone toilettes, (2) et de l'accompagnement des usagères dans l'utilisation de la solution, au plan postural notamment, (3) ou encore la tension entre intimité, sécurité et surveillance. Ce qui nous intéresse ici est de discuter du défi méthodologique d'analyser ce qui se passe aux toilettes, activité, hautement intime et socialement cachée.

Les séquences S4 à S7 –réalisées dans l'enceinte même des urinoires – ne pouvaient être observées directement. Aussi, nous avions repéré lors des séances de tests décrits précédemment différents indicateurs successifs – I1 à I5' – acceptables par et coconstruits avec les usagères, et observables depuis l'extérieur de l'enceinte toilettes (Figure 5). En effet, les ouvertures en haut et en bas des portes battantes ont permis de reconstruire l'activité réelle des usagères, partiellement dévoilée, tels que :

- les changements d'orientation du regard et de la tête des usagères (I1), et simultanément les changements de position des pieds (I1'), renvoyant au passage progressif de la position face à l'urinoire à celle de dos, passant par celle transitoire de côté, et intégrant le déshabillage ;
- la disparition soudaine de la tête (I2), renvoyant à la posture en squat favorable à la miction ;
- de légers déplacements et écartements des pieds (I3), avec la durée la plus longue de la séquence non directement observable, renvoyant à la miction en elle-même ;

- le retour soudain de la tête (I4), marquant le retour à la posture debout, et signifiant la fin de la miction et intégrant le rhabillage ;
- les changements d'orientation du regard et de la tête des usagères (I5), et simultanément les changements de position des pieds (I5'), renvoyant au retour progressif à la position de dos, passant par celle transitoire de côté, précédant la sortie de l'urinoire.

Figure 5 : Quelques illustrations d'indicateurs retenus pour déduire l'activité réelle.

De plus, de courtes auto-confrontations, réalisées immédiatement à la sortie de l'urinoire, et prenant appui sur la séquence filmée depuis l'extérieur, nous a permis de confirmer les séquences déduites de l'extérieur, les durées des différentes séquences, et plus largement des éléments relatifs à l'expérience vécue de plusieurs usagères.

4. CONCLUSION

Comment observer sans voir ? Voilà une question que nous nous proposions de discuter, dès lors qu'il s'agit d'analyser l'activité aux frontières de l'intime. Les méthodes permettant d'accéder aux dimensions corporelles de l'activité par exemple du pipi des femmes, et des hommes, doivent être scrupuleusement réfléchies, coconstruites et testées en situation, tant il s'agira de reconstruire l'activité réelle des usagères, partiellement dévoilée. Ces données diverses se sont avérées pertinentes pour une contribution réelle à la conception de l'urinoire. L'équipe mixte d'ergonomes constituée pour ce projet nous semble avoir également facilité l'approche des différentes situations analysées, tant la situation du « faire pipi au féminin », que la situation de référence que constitue l'usage d'urinoir pour hommes.

5. BIBLIOGRAPHIE

Blidon, M. (2005). *La dernière tasse*. Association Espaces Temps.net

Damon (2009). Les toilettes publiques : un droit à mieux aménager. *Droit social*, 1, pp. 103-110.

Goffman (2002). *L'arrangement des sexes*. La Dispute.

Greed, C. (2014). *Global gendered toilet provision*. In: More Public than Private: Toilet Adoption and Menstrual Hygiene Management II in AAG Annual Conference, Tampa, Florida, USA, 8-12 April 2014.

Messing, K., & Chatigny, C. (2004). Travail et genre. In Falzon, P. *Ergonomie* (pp. universitaires de France. 301-316). Presses.

Prost, M. & Bourmaud, G. (2020). Concevoir un urinoir pour femmes, aux frontières de l'intimité et de la sécurité. *Actes du 55ème Congrès de la SELF. L'activité et ses frontières – Penser et agir sur les transformations de nos sociétés.* Paris (visio). 12-13 janvier 2021. 416-421.

Questionner la durabilité des systèmes par une approche multi niveaux : illustration dans la promotion de l'activité physique.

Steven Le Pape, Thibault Kérivel & Bernier Marjorie
Centre de recherche sur l'éducation, les apprentissages et la didactique (CREAD), Université de Bretagne Occidentale (UBO), France ; steven.lepape@univ-brest.fr
CREAD, UBO ; kerivel.thibault@univ-brest.fr
CREAD, UBO ; marjorie.bernier@univ-brest.fr

RÉSUMÉ

Dans la promotion de l'activité physique, les individus, les collectifs et/ou les organisations sont confrontés à des enjeux de durabilité notamment au regard des effets des dispositifs. En adoptant une approche multiniveau, l'objectif de notre communication est de porter un regard systémique sur la promotion de l'AP. Nous avons pu identifier 5 systèmes faisant partie de notre système global : les politiques publiques, l'université, les chercheurs, les EAPA et les bénéficiaires. Nous avons identifié 6 cas significatifs influençant le système cible. Ces 6 cas sont : le recrutement, l'utilisation des JVA, l'hybridation, le transfert après le programme, les relations bénéficiaires-bénéficiaires, les relations bénéficiaires-EAPA. Cette illustration permet de proposer une grille de lecture innovante et inédite dans la promotion de l'activité physique.

MOTS-CLÉS

Activité Physique, Multiniveaux, Durabilité, Intérêt en Situation, Intérêt Personnel

1. INTRODUCTION

La promotion de l'Activité Physique (AP) est un enjeu de santé publique majeur. Près d'un quart de la population mondiale n'atteint pas les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) concernant l'AP (Guthold et al., 2018). La compréhension des facteurs influençant l'engagement vers une AP durable et bénéfique pour la santé est une préoccupation importante de la communauté scientifique.

Le cadre théorique de l'intérêt offre des perspectives intéressantes pour comprendre cet engagement à l'échelle individuelle. L'intérêt peut se définir comme un état psychologique qui émerge de l'interaction d'une personne avec une activité (Krapp et al., 1992). L'intérêt est décliné en deux versants : (1) un intérêt personnel (IP) qui est caractérisé par les préférences relativement stables d'un individu, influencées par ses connaissances, ses croyances et ses valeurs. L'IP est stable, avec un développement lent dans le temps (par exemple : je n'aime pas l'activité physique en général) et (2) un intérêt en situation (IS) qui est fluctuant, dépendant du couplage individu-environnement à un moment donné (par exemple : j'ai aimé cette séance de course à pied aujourd'hui). Même si l'intérêt personnel et en situation sont présentés comme deux versants de l'intérêt, ils ne sont pas isolés : l'un et l'autre interagissent au sein d'un même « continuum ». Plus précisément, l'IS se développe en réponse à un environnement particulier alors que l'intérêt personnel résulte d'une exposition à long terme et répétée dans ce dit environnement. Le cadre théorique de l'intérêt et notamment l'intérêt en situation offre un support théorique pertinent pour enrichir ou concevoir de nouveaux programmes avec un effet attendu sur l'engagement durable dans l'AP (Le Pape et al., 2023). Pour mieux

comprendre les effets d'un programme d'activité physique sur des variables situationnelles telles que l'intérêt en situation ou l'activité physique mais aussi sur des variables plus stables comme l'intérêt personnel, il semble nécessaire de prendre en compte des facteurs influençant la pratique d'une activité physique bénéfique pour la santé et durable dans le temps. Bien que des modèles (par exemple : modèle socio-écologique) en psychologie de l'activité physique permettent de représenter plusieurs niveaux comme faisant partie d'un système global, dynamique et influençant les pratiques individuelles (Bernal et al., 2020), ils ne permettent pas de comprendre l'influence des différents niveaux entre eux et au cours du temps.

Dans le domaine de la psychologie ergonomique, les analyses multiniveaux se sont développées pour rendre compte des systèmes complexes. Dans la perspective de proposer une alternative pour les analyses multiniveaux en incluant une dimension temporelle, des études centrées sur le développement durable (Thatcher & Yeow, 2016) et sur une vision systémique de l'approche ergonomique (Wilson, 2014) proposent le modèle Sustainable System of Systems (SSoS ; Système durable de systèmes). Ce modèle hiérarchique, issu des approches ergonomiques, propose une grille d'analyse pour comprendre la nature des interactions au sein de différents systèmes dans l'étude de la durabilité d'un système. Plus précisément, le modèle permet d'accéder à la complexité des différents systèmes et de prendre en compte les interactions qui régissent cet ensemble de systèmes dans le temps. De cette façon, les phénomènes mis à jour au sein d'un système analysé (ou système « cible ») peuvent être caractérisés et compris par l'analyse de l'influence des autres systèmes sur ce système cible. Initialement conçu pour analyser les relations entre la nature et les humains, ce modèle a été réinvesti par des auteurs pour rendre compte de l'activité des acteurs dans des domaines différents (transition agroécologique, Chizallet et al., 2023 ; formation au sport de haut niveau, Kerivel et al., sous presse). Cet usage innovant du modèle qui redonne une place centrale à l'activité des acteurs s'est fait par un travail important d'agrégation entre l'approche hiérarchique du modèle SSoS et l'approche centrée sur l'analyse de l'activité (Thatcher et al., 2019). En partant de ces travaux et des opportunités qu'ils offrent et en adoptant une approche multiniveau et longitudinale, l'objectif de notre communication est de porter un regard systémique sur la promotion de l'AP chez des étudiants.

2. MÉTHODE

2.1. Participants et procédure

Un programme d'Activité Physique Adaptée (APA) de 10 séances a été mené auprès de 11 bénéficiaires inactifs physiquement (Moy âge = 21, ET âge = 2 ; Moy IMC = 25, ET IMC = 6,7) par 2 Enseignants d'Activité Physique Adaptée (EAPA) ayant des expériences diverses dans l'encadrement de programme d'APA. Les 10 séances du programme sont basées sur l'utilisation des jeux vidéo actifs (JVA). Préalablement à la mise en place de ce programme, une étude a permis d'évaluer sa faisabilité et d'ajuster le contenu du programme.

2.2. Variables mesurées

Concernant les bénéficiaires, plusieurs variables ont été recueillies. L'intérêt personnel, l'estime de soi physique (ISP 12), l'activité physique déclarée (ONAPS-PAQ), l'endurance cardiovasculaire (TM6) et la force musculaire (Hand-grip) ont été recueillies avant et après le programme. L'intérêt en situation (questionnaire adapté de l'EMIS-EP), la perception de l'effort (Échelle de Borg) et l'assiduité aux séances ont été recueillis après chacune des 10 séances du programme. L'activité physique réelle (Accéléromètre, GT3X) a été recueillie pendant toutes les séances, elle se distinguent en 2 types d'activité physique : légère, modérée et vigoureuse. L'activité physique modérée à vigoureuse (APMV)

est considérée comme bénéfique pour la santé. Enfin, les freins et les leviers de la pratique d'une activité physique régulière ainsi que la dynamique de l'intérêt en situation au cours du programme ont été recueillis à l'aide d'un entretien semi-directif au maximum 15 jours après la fin de l'intervention. Concernant les EAPA, un avis général sur le déroulement de la séance et l'engagement de chaque bénéficiaire a été recueilli après chaque séance sous forme de notes ethnographiques. Après le programme, les EAPA ont été interrogées sur les leviers et les freins à la mise en place de programmes d'APA à l'université à l'aide d'un entretien semi-directif collectif.

2.3. Analyse des données

L'analyse des données est cadrée par la stratégie multiniveaux et longitudinale de l'étude. Dans un premier temps nous avons défini les différents niveaux du SSoS. Pour cette étape nous nous sommes appuyés sur de récentes études inscrites dans une approche multiniveau. La caractérisation des niveaux a été réalisée par les deux premiers chercheurs de cette étude puis soumise à validation de la troisième chercheuse.

2.3.1. Analyse de système cible

Dans un premier temps nous avons analysé le « système cible » à travers l'étude des variables individuelles (psychologiques et physiologiques) des bénéficiaires. Complémentairement, nous avons analysé les entretiens post-programme avec les bénéficiaires. Cette première analyse nous permet d'extraire des résultats intermédiaires relatifs à la dynamique de l'intérêt en situation et de l'activité physique pour chaque bénéficiaire.

2.3.2. Analyse des éléments susceptibles d'influencer le système cible

Dans la perspective de mieux comprendre l'effet du SSoS sur la promotion de l'AP nous avons conduit des entretiens semi-directifs collectifs avec les EAPA. L'analyse des données s'est faite de façon ascendante. Les auteurs se sont immergés dans les données pour extraire du discours de EAPA les éléments susceptibles d'influencer le bon déroulement du programme (freins et leviers) et d'avoir un impact sur l'intérêt et l'activité physique des bénéficiaires. Cette étape d'analyse a permis d'extraire un ensemble de verbatims que nous pouvions classer relativement aux niveaux du SSoS et relativement au déroulé temporel du programme.

2.3.3. Articulation des analyses à partir d'études de cas

L'enjeu de notre travail était de comprendre en quoi une analyse multiniveau permet de rendre compte des interactions entre différents niveaux dans le temps. Pour répondre à cet enjeu nous nous sommes appuyés sur les résultats intermédiaires issus de l'analyse du système cible et de l'analyse des éléments susceptibles d'influencer le bon déroulement du programme. Nous avons pu repérer dans ces données des « cas significatifs » qui permettent de mettre en évidence des interactions entre l'activité des bénéficiaires et les différents niveaux du SSoS. Pour repérer ces cas nous avons édité des tableaux permettant de mettre en vis-à-vis les différentes données issues de l'hétérogénéité de nos données et des analyses associées.

3. RÉSULTATS

Nous avons pu identifier 5 systèmes faisant partie de notre système global : les politiques publiques, l'université, les chercheurs, les EAPA et les bénéficiaires. Le système le plus général est celui des politiques publiques, l'objectif de ce système est d'établir les recommandations en termes d'activité physique et de financer la promotion de l'activité physique. Le système suivant est l'université, il a pour objectif de contribuer à la mise en place de dispositifs pour promouvoir l'activité physique auprès de ses salariés et usagers. Les chercheurs ont pour objectif la conception et l'évaluation de

programmes d'AP utilisant les JVA auprès d'étudiants inactifs. Ensuite, les enseignants APA ont pour objectif la conception et la mise en œuvre de programmes d'AP. Enfin, les bénéficiaires ont pour objectif de suivre l'intégralité du programme proposé. Nous avons identifié 6 cas significatifs influençant le système cible. Ces 6 cas sont : le recrutement, l'utilisation des JVA, l'hybridation, le transfert après le programme, les relations bénéficiaires-bénéficiaires, les relations bénéficiaires-EAPA. Finalement ce travail d'identification par "cas significatifs" nous permet de modéliser un ensemble de cas que nous pouvons replacer chronologiquement au fur et à mesure du déroulement du programme d'AP. Chaque cas renseigne des influences qui viennent faciliter ou empêcher le déroulement du programme et permettent de comprendre de façon plus systémique la dynamique de l'IS ou de l'AP. Complémentairement, nous observons que les sous-systèmes influencent de façon stable ou plus ponctuellement l'activité du système cible et que les influences sont principalement descendantes dans le SSoS.

4. DISCUSSION

L'objectif de la communication est de présenter en quoi le modèle *Sustainable System of Systems* permet de rendre compte des interactions entre différents niveaux dans le temps pour identifier des freins et/ou des leviers pour créer des systèmes durables. Les éléments présentés dans cette communication sont discutés au regard des défis théoriques qu'engage l'usage du modèle SSoS dans une perspective plus située de l'activité humaine. En effet l'agrégation des différentes approches permet une compréhension systémique et dynamique de la promotion de l'AP, d'étendre la compréhension du couplage entre un acteur et son environnement (Chizallet et al., 2023) et de questionner la durabilité de l'engagement dans l'AP. La discussion offre la possibilité d'évoquer les défis méthodologiques de ce type d'études et notamment l'analyse de données hétérogènes qui permettent de renseigner différents niveaux. Finalement, notre étude offre des apports pratiques pour la conception de dispositifs durables pour promouvoir l'activité physique et invite à penser la conception des dispositifs dans une collaboration intégrative entre les différents acteurs et les différents systèmes concernés. Ce dernier point nous amène à envisager le modèle SSoS comme un support permettant de décrire des systèmes dynamiques, mais également comme un support dans la conception de dispositifs durables.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bernal, C. M. M., Lhuisset, L., Fabre, N., & Bois, J. (2020). Promotion de l'activité physique à l'école primaire : Évaluation de l'efficacité des interventions uni-leviers et multi-leviers. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, *110*, 49-78. https://doi.org/10.1051/sm/2020022

Chizallet, M., Barcellini, F., & Prost, L. (2023). Sustainable system of systems at work : Unravelling (some of) the complexity of farmers' transition to sustainability. *Ergonomics*. 10.1080/00140139.2022.2163687

Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016 : A pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *The Lancet Global Health*, *6*(10), e1077-e1086. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7

Kerivel, T., Bossard, C., Guibourdenche, J. & Prost, M. (sous presse). Analyse multiniveaux et longitudinale de l'intuition collective. *Revue d'anthropologie des connaissances.*

Krapp, A., Hidi, S., & Renninger, K. (1992). Interest, learning, and development. In *The role of interest in learning and development* (p. 3-25).

Thatcher, A., & Yeow, P. H. P. (2016). A sustainable system of systems approach : A new HFE paradigm.

Ergonomics, *59*(2), 167-178. https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1066876

Le Pape, S., Bernier, M., Bossard, C., & Kermarrec, G. (2023). L'apport de l'intérêt en situation et des nouvelles technologies pour la promotion de l'Activité Physique. Fournier, J. (Eds). *Psychologie du sport et de l'activité physique*. Elsevier Masson

Thatcher, A., Guibourdenche, J., & Cahour, B. (2019). Sustainable system-of-systems and francophone activity-centered approaches in ergonomics : Converging and diverging lines of dialogue. *Psychologie Française*, *64*. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2018.07.001

Wilson, J.R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. Applied Ergonomics, 45, 5-13.

Le corps en mouvement pour transformer le travail.

Christelle Casse & Adeline Masson

Institut d'Etudes du Travail de Lyon, Université Lumière Lyon2 - EVS UMR 5600, Lyon - c.casse@univ-lyon2.fr

Consultante, Bordeaux - adeline.m4@gmail.com

RÉSUMÉ

Le corps est un enjeu central de l'ergonomie. Il est souvent perçu et analysé du point de vue des logiques fonctionnelles du travail : santé, sécurité et efficacité. Nous proposons une approche complémentaire basée sur l'expérience sensible du corps comme ressource pour concevoir des systèmes de travail soutenables et favoriser la préservation de la santé. Comment par le corps comprendre, élaborer, voire résoudre des questions du travail, mais également accompagner leur expression et leur transformation ? En quoi une approche qui propose de mettre le corps en mouvement s'inscrit-elle dans une démarche réflexive ? Nous illustrons la démarche que nous cherchons à développer par des exemples tirés d'ateliers réalisés avec des musiciens professionnels et mobilisant la danse et le Qi Gong en articulation avec des méthodes plus classiques de l'ergonomie**.**

MOTS-CLÉS

Corps, Intervention, Hybridation, Transitions, Mouvement.

1. INTRODUCTION

Cette communication s'appuie sur une démarche d'élaboration et d'expérimentation de formes d'intervention hybrides qui intègrent une approche du corps sensible pour favoriser la conception de systèmes de travail durables, l'émergence de nouveaux savoir-faire et de nouveaux modes de coopération. Notre démarche est basée sur l'articulation des méthodes de l'ergonomie avec une approche pédagogique inspirée de la danse (composition instantanée et tango) et du Qi Gong (pratique de santé issue de la médecine traditionnelle chinoise, par le mouvement, le souffle et la mise en circulation de l'énergie). Elle s'appuie sur nos doubles compétences, formations et pratiques en ergonomie ainsi qu'en danse et Qi Gong. Dans le cadre de cette contribution, nous souhaitons présenter et discuter notre travail comme un « work in progress », à partir de la mise en place de deux ateliers proposés à des musiciens professionnels autour des risques professionnels liés à leur métier et de l'engagement du corps dans l'activité.

1.1. Les enjeux de penser et concevoir des systèmes de travail soutenables et écologiques

Les exigences des transitions écologiques nous assignent de transformer les façons de faire et de produire pour aller vers des systèmes de travail plus durables prenant en compte les ressources de notre environnement et les impacts de nos systèmes. Elles mettent en évidence l'incompatibilité de nos systèmes de production actuels avec les dynamiques et équilibres du vivant, du point de vue de l'environnement comme des travailleurs qui subissent des conditions de travail délétères (Béguin, 2016 ; Béguin & al., 2021 ; Casse & al., 2022). A la suite de recherches suédoises (Docherty & al., 2002) et dans la ligne des travaux soutenus par l'OIT sur le travail décent, des chercheurs français ont tenté de définir un système de travail soutenable en opposition aux systèmes « intensifs » (Gollac & al., 2008 ; Volkoff et al., 2015) qui caractérisent la plupart des organisations actuelles dans les entreprises. Gollac & al. (2008), du Centre d'Etudes de l'Emploi, définissent trois critères pour caractériser un système de travail soutenable : - Etre « *bio-compatible* », c'est-à-dire adapté aux propriétés

fonctionnelles de l'organisme humain et à son évolution au fil de l'existence, on peut y ajouter favorable / respectueux des dynamiques du vivant ; - Etre « *ergo-compatible* », c'est-à-dire propice à l'élaboration de stratégies de travail efficientes et nous rajouterons épanouissantes ; - Enfin, être « *socio-compatible* », c'est-à-dire favorable à l'épanouissement dans les sphères familiale et sociale et à la maîtrise d'un projet de vie. Ces trois critères impliquent une « vision » du corps, « en tant que matrice de l'activité humaine » (Schwartz & al., 2009) et du travail vivant, en capacité d'agir dans les différentes sphères de l'existence, qui questionne la performance et le sens du travail (au sens des effets que l'on produit et de ce que l'on fait au monde, au-delà de ce qui est produit). Ce modèle remet également en cause nos façons d'intervenir dans les organisations et de les concevoir.

1.2. Des injonctions de développer l'activité physique au travail pour être en meilleure santé

Les entreprises et l'Etat s'intéressent de plus en plus à la question du corps et de l'activité physique pour améliorer la santé des salariés. L'Etat s'est fixé comme objectif de « favoriser le développement de la pratique d'activité physique et sportive (APS) pour tous et partout avec une cible de trois millions de pratiquants supplémentaires en 2024 ». Pour atteindre cet objectif il vise notamment à l'horizon 2023 la promotion et l'accompagnement de l'APS dans les milieux professionnels, notamment dans les administrations publiques « dans une démarche de qualité de vie au travail ». Cependant ces approches, si elles soulignent l'importance de porter une attention à l'engagement du corps dans nos modes de vie et de travail dans un souci de durabilité, ont aussi l'inconvénient de faire porter exclusivement sur les individus la responsabilité de leur santé. Elles masquent en particulier les enjeux liés à la prise en compte du fonctionnement humain dans le travail, donc dans des organisations et milieux du travail qui soumettent les travailleurs au rythme et aux normes techniques des machines et conduisent au contraire à « une adaptation du vivant à la machine, à un *alignement* de l'organisme humain au social » (Béguin, 2016) qui empêche et met les corps en souffrance (Caroly, 2022).

2. PROBLEMATIQUE : DEVELOPPER LES DYNAMIQUES DE SANTE HUMAINE ET D'EQUILIBRE ECOLOGIQUE PAR LE SENSIBLE ET LE MOUVEMENT

Comme Carole Baudin (2021), nous pensons que la danse, de même que le Qi Gong ou d'autres arts et "techniques" du corps, peuvent contribuer à affiner la compréhension du corps au travail, mais aussi de l'action, de l'engagement, des dynamiques collectives, en ouvrant nos catégories d'analyse et d'expérience (perspective chorégraphique, voire rituelle ; relation dynamique à l'espace, au temps, aux autres, à soi-même…), et ainsi, ouvrir des pistes d'intervention favorisant une « réappropriation collective des questions relatives au corps en mouvement ou au corps en souffrance dans [les] système[s] de travail » (Uguen & al., 2018). Il s'agit alors d'hybrider des formes d'analyse du travail et de l'activité avec les techniques issues de la danse et du Qi Gong. Dans cette perspective, nous faisons l'hypothèse que par le corps et le mouvement, et par la prise en compte et le développement des dimensions sensorielles et sensibles du corps et de l'activité individuelle et collective, nous pourrons non seulement accompagner les travailleurs et travailleuses vers une meilleure santé et plus de bien-être à long terme, mais aussi favoriser la conception et la mise en œuvre d'organisations du travail plus adaptées au fonctionnement humain, plus intégratrices des dynamiques du vivant et respectueuses de l'environnement.

3. DEMARCHE D'EXPERIMENTATION

Notre projet propose d'expérimenter de nouvelles méthodes d'intervention qui favorisent des transformations des acteurs, des collectifs et des organisations porteuses de nouvelles modalités de faire et d'être en relation : de nouveaux usages de soi, plus soutenables. Pour atteindre cet objectif, nous proposons d'expérimenter une méthodologie d'intervention basée sur deux volets

complémentaires et interdépendants. D'une part, nous réalisons une analyse ergonomique des situations et de l'organisation du travail en combinant des entretiens et des observations de l'activité de travail d'un point de vue sensible. D'autre part, nous mettons en place des ateliers réflexifs basés sur des "expériences en mouvement" conçues à partir des caractéristiques du travail quotidien, croisés avec des temps de réflexion permettant aux participants de partager leurs points de vue sur leurs expériences et pratiques de travail. L'intervention rapportée ici s'est concentrée sur la deuxième partie de cette méthodologie, qui a été testée au cours d'une formation d'une semaine destinée à des musiciens internationaux de musiques actuelles axée sur les risques professionnels dans le cadre de leur travail. En tant qu'ergonomes et praticiens du mouvement, nous avons conçu et animé deux ateliers : un débat en mouvement sur les risques professionnels dans le travail des musiciens et un atelier de pratique corporelle et réflexive basé sur la danse et le Qi Gong.

3.1. Un débat en mouvement pour mettre en scène et discuter des questions spécifiques aux risques professionnels

Le premier atelier de *débat mouvant* a consisté à poser des questions fermées au groupe de musiciens. Ces questions ont été élaborées en fonction d'une analyse du travail réalisée précédemment pour aborder des aspects pratiques de la profession ayant un impact potentiellement important sur la santé des musiciens (polyvalence et polyactivité, rythmes de travail et de tournée, usages des réseaux sociaux, addictions, caractéristiques des « métiers passion », intermittence…). Cette analyse a été alimentée par les différents acteurs intervenant dans la formation de prévention des risques professionnels (musiciens, encadrants, ergonome d'un service de santé au travail dédié aux intermittents du spectacle). Nous avons demandé aux participants de répondre aux questions en se positionnant dans la salle en fonction du degré d'accord avec la question : d'un côté la zone où se placer pour exprimer un accord total, de l'autre la zone où exprimer un désaccord. Les participants pouvaient se placer voire se déplacer où cela leur convenait entre ces deux pôles. Les premières questions ont été traitées uniquement en se déplaçant (sans débat), ce qui a permis aux participants d'évaluer visuellement les réponses des autres et leur propre positionnement par rapport aux autres. Ce qui constituait une expérience corporelle et subjective de positionnement individuel et collectif au sein du groupe. Les questions suivantes ont donné lieu à des échanges plus précis et à des débats sur les différentes réponses et la compréhension des questions abordées. L'observation des précédents positionnements dans l'espace et dans le débat a pu être remise en discussion par les participants.

3.2. Un atelier de pratique corporelle basé sur la danse et le Qi Gong

Le second atelier était basé sur des exercices individuels, en binôme et collectifs mobilisant des techniques de Qi Gong et de composition instantanée en danse. Nous avons alterné des moments collectifs de mouvement et d'analyse réflexive visant à encourager l'auto-observation des perceptions et des sensations et le partage avec les partenaires. Les exercices ont été conçus et mobilisés de manière spécifique et évolutive en fonction des résultats des analyses de l'activité, à partir de situations d'action typiques et de modes d'engagement physique, subjectif et relationnel identifiés dans l'activité des musiciens.

Dans un premier temps, nous avons proposé un tour de parole où chacun a présenté sa pratique instrumentale et/ou vocale et les sensations physiques associées. Le premier exercice proposé était individuel, visant à amener les participants à observer l'ancrage de leurs pieds au sol, la position de leur colonne vertébrale et leur perception de la gravité dans le but de relâcher progressivement les zones possiblement en tension (bassin, zone lombaire, ceinture scapulaire, cervicales). L'étape suivante, réalisée en binôme, visait à détendre les épaules avec l'aide d'un partenaire qui guidait un mouvement très lent des membres supérieurs. Nous avons ensuite proposé différents exercices pour explorer les transformations des sensations et des tensions dans le corps à l'aide d'un objet intermédiaire, en l'occurrence une baguette de bois, qui pouvait symboliser l'instrument de musique

et les contraintes qu'il impose (gestuelles, posturales…). Nous avons invité les musiciens à prendre des postures qu'ils connaissent dans leur pratique et à les revisiter avec les nouvelles sensations perçues dans les exercices précédents. Enfin, en binôme puis en groupe, ils ont exploré les ajustements et la fluidité des mouvements et des déplacements collectifs avec les baguettes en bois maintenues en équilibre entre eux. L'idée n'était pas de maintenir à tout prix la baguette en place mais de rester le plus détendu possible dans l'expérience des contraintes gestuelles et posturales.

Du point de vue de l'approche réflexive, nous avons invité les participants à être attentifs à ce que ces explorations individuelles et collectives du mouvement produisaient sur eux-mêmes et sur les autres.

3.2.1. Principaux résultats

Les échanges lors du débat mouvant ont conduit à un espace de discussion riche sur les pratiques de chaque musicien. Ils ont partagé les expériences variées et les solutions pratiques mises en place par chacun d'entre eux dans leur pratique quotidienne pour assurer la performance, planifier son travail, trouver du temps pour se reposer, travailler avec un groupe, réaliser la diversité des tâches et trouver un soutien collectif. Des thématiques délicates et personnelles ont pu émerger de façon spontanée au-delà de toute pression normative et les musiciens ont pu appréhender la diversité et les nuances de leurs expériences, qu'ils ont pu interroger et approfondir ensemble, générant des déplacements de point de vue et de représentation sur leur propre activité et celle des autres.

L'atelier de pratique corporelle a produit des effets notamment en termes de perception du corps, des sensations d'inconfort ou au contraire de fluidité ; d'ouverture à de nouveaux mouvements et de capacité à se déplacer et à faire corps avec un objet extérieur ; de nouvelles postures possibles. Il a fait émerger les ressources pour permettre une mobilité et des ajustements du corps facilitant la perception de ses propres tensions et celles des autres et des possibilités de les transformer. Ces exercices ont ainsi permis de réfléchir à l'engagement de chacun dans son travail par rapport à son instrument ou sa voix et aux moyens de trouver de nouvelles façons de bouger et de faire corps avec l'instrument à travers une expérience partagée et incarnée.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Notre proposition s'inscrit dans une démarche de soin des personnes et du travail en entrant par la matière même du corps et son ressenti. Nous cherchons ainsi à créer un espace-temps expérimental et progressif, protégé, pour explorer le mouvement, le geste, la relation, dans et à partir du corps vivant et pensant (Baudin & Bouvier, 2023). Cette démarche s'attache à soutenir et renforcer des méthodes d'intervention plus classiques en ergonomie visant la transformation des systèmes de travail dans une perspective de bio-ergo-socio-compatibilité telle que proposée par Gollac et al. (2008), en inscrivant ces différentes dimensions dans un nouveau rapport des humains et des organisations au travail et au milieu.

La démarche présentée s'appuie sur des expériences guidées pour que chaque participant puisse revenir à ses propres perceptions et sensations, ses propres repères et crée ses propres « indicateurs » internes du vivant, qui nous semblent essentiels notamment face à des formes de travail (organisation, relation, technique) qui peuvent déstabiliser, déstructurer, déposséder de ses propres critères et perceptions (burnout…). Les expérimentations que nous avons menées attestent d'une approche réflexive sur l'écoute et les messages du corps et favorisent ainsi le développement d'une activité de préservation de soi (Bourgeois et Hubault, 2005 ; Caroly et al, 2008), qui peut venir enrichir les stratégies de prévention traditionnelles et contribuer plus largement au développement de la santé dans l'activité (Petit & al., 2009 ; Mollo et Nascimento, 2013 ; Casse et Caroly, 2017 ; Caroly, 2022).

5. BIBLIOGRAPHIE

Baudin, C. (2021). Mise en abîme des "corps inspirés" : l'urgence du retour au sensible. *Actes du 55ème Congrès de la Self. L'activité et ses frontières. Penser et agir sur les transformations de nos sociétés*. Paris 11, 12 & 13 janvier 2021.

Baudin, C. & Bouvier, M. (2023). Comment la danse peut aider les ingénieurs à imaginer le monde de demain ? *The conversation France.* 10 avril 2023.

Béguin, P. (2016). Canguilhem et le milieu. Réflexion sur la portée d'un « *renversement* ». Séminaire de recherche UMR 5600 EVS- Atelier 7 / Mésologie - Séance du 9 Décembre 2016

Béguin, P., Pueyo, V. & Casse, C. (2021). Réflexions sur les liens entre le travail humain et le développement durable. *Revue de Droit du Travail*, Dalloz, (n°5), 307-313.

Bidet, A. (2007). Le travail entre corps et technique. Communications, 81. Corps et techniques.

Bourgeois, F., & Hubault, F. (2005). Prévenir les TMS. De la biomécanique à la revalorisation du travail, l'analyse du geste dans toutes ses dimensions. Activités, 2(2-1).

Caroly, S., Coutarel, F., Escriva, E., Roquelaure, Y., Schweitzer, J. M., & Daniellou, F. (2008). La prévention durable des TMS: Quels freins? Quels leviers d'action? (Doctoral dissertation, PACTE; ANACT; LEEST; Equipe d'Ergonomie Bordeaux).

Caroly, S. (2022). *Le corps et la gestion des risques dans l'activité collective*. Toulouse : Octarès.

Casse, C., Caroly, S. (2017). Les espaces de débat comme méthodologie d'intervention capacitante pour enrichir le retour d'expérience. *Activités*, 14-2.

Casse, C., Béguin, P. & Pueyo, V. (2022). Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE), développement durable et travail. *Revue de Droit du Travail*, Dalloz (n°6), 371-379.

Docherty, P., Forslin, J., Kira, M. & Shani, A. B. (2002). Emerging work systems. *Creating sustainable work systems*, 3-14. London & New York: Routledge.

Gollac, M., Guyot, S., & Volkoff., S. (2008). *Emploi soutenable carrières individuelles et protection sociale.* Rapport de recherche du Centre d'Etudes de l'Emploi- La documentation Française n°58, 146 pages.

Mollo, V., Nascimento, A., (2013). Pratiques réflexives et développement des individus, des collectifs et des organisations. Pierre Falzon éd., *Ergonomie constructive* (pp. 207-222). Paris : PUF.

Petit, J., Chassaing, K. & Daniellou, F., (2009). Le corps dans la conception ou la transformation de situations de travail. *Corps*, 6, 39-45.

Schwartz, Y. & Echternacht, E. (2009). Le corps-soi dans les milieux de travail : comment se spécifie sa compétence à vivre ? *Corps*, 6, 31-37.

Uguen, C., Sablon, S. & Carballeda, G. (2018). Intégration de la préparation physique dans l'approche ergonomique : quel dispositif pour quel(s) objectif(s) ? Activités, 15-2 | 2018, mis en ligne le 15 octobre 2018

Volkoff, S. & Gaudart, C. (2015). *Conditions de travail et soutenabilité : des connaissances à l'action*. Rapport de recherche n° 91, Centre d'Etudes de l'Emploi.

Développer les compétences émotionnelles des athlètes pour améliorer la durabilité de la carrière sportive professionnelle.

Sylvain Dugény[1,2], Cyril Bossard[1,2], Philippe Vacher[1,2] & Gilles Kermarrec[1,2]

[1]Centre de Recherche sur l'Éducation les Apprentissages et la Didactique (CREAD, EA3875)

[2]Université de Bretagne Occidentale, France

sylvain.dugeny@univ-brest.fr

cyril.bossard@univ-brest.fr

philippe.vacher@univ-brest.fr

gilles.kermarrec@univ-brest.fr

RÉSUMÉ

Cette communication vise à alimenter la réflexion sur la performance durable, sous l'angle de la durabilité de la carrière sportive professionnelle. Non durable par essence, car souvent courte, elle est sous-tendue par des niveaux élevés d'exigences physiques et psychologiques pour les athlètes, accentuant ainsi certains risques physiques (e.g., blessures) et/ou psychosociaux (e.g., burnout). À court terme, la durabilité questionne les ressources fournies aux athlètes pour atténuer les effets néfastes de ces exigences. Envisagée à plus long terme, elle pose la question de l'anticipation de la fin de carrière et du transfert de ressources ou de compétences acquises au cours de la carrière à d'autres domaines. Les compétences émotionnelles (i.e., la conscience et la gestion de ses propres émotions et de celles des autres) apparaissent comme une réponse intéressante à ce double enjeu. Nous présenterons des travaux montrant que les compétences émotionnelles entretiennent des liens avec la performance sportive, avec des indicateurs de durabilité et avec la transition ou l'après-carrière.

MOTS-CLÉS

Compétences émotionnelles, carrière sportive, durabilité, performance, transfert.

1. INTRODUCTION

Envisager un développement durable des athlètes dans le sport de haute performance invite à penser la durabilité à l'échelle de la carrière sportive professionnelle et donc à prendre en compte son aspect évolutif et les différentes temporalités et dimensions qui la caractérisent. En effet, le concept de non-durabilité de la carrière (De Vos et al., 2020) souligne que la durabilité d'une carrière est dynamique, qu'elle change au cours du temps et en fonction de caractéristiques intrinsèques et extrinsèques. En d'autres termes, la durabilité de la carrière peut être vue à travers le double prisme de l'aptitude au travail et de l'employabilité (De Vos & Van der Heijden, 2015).

L'aptitude au travail renvoie à la capacité des travailleurs à satisfaire aux attentes de l'emploi sans encourir d'épuisement ou de niveaux intolérables de stress (De Vos & Gielens, 2014). Elle est donc liée aux émotions positives et à la santé psychologique comme indicateurs de durabilité (De Vos et al., 2020). L'employabilité fait quant à elle référence à la possibilité d'emploi d'un individu à court et à long terme (Lawrence et al., 2015). Elle est davantage liée à la productivité ou à la performance comme témoin de la durabilité (De Vos et al., 2020). Prises ensembles, ces notions viennent questionner la

durabilité de la carrière sportive professionnelle au regard des attentes ou demandes qui en découlent et des ressources susceptibles d'être développées à travers elle.

En prenant appui sur la théorie Travail-Demandes-Ressources (Job-Demands-Resources, Bakker & Demerouti, 2017), nous questionnons comment les ressources pouvant être fournies aux athlètes au cours de leur carrière sont susceptibles de les aider à satisfaire aux exigences d'une carrière sportive professionnelle. Le sport de haut niveau impose aux athlètes un niveau de performance élevé, des demandes physiologiques et physiques importantes, avec une prééminence des blessures (Kujala et al., 2003; Ristolainen et al., 2012), des attentes élevées du point de vue psychologique (Taylor et al., 2019) et dans les sports d'équipe de travailler efficacement avec d'autres membres (Battochio et al., 2016; Nicholls et al., 2006; Thelwell et al., 2007). En parallèle, les athlètes sont amenés à réfléchir très tôt à leur après carrière, dans la mesure où les carrières sportives sont généralement courtes. Des préoccupations importantes ont émergé sur ce versant parmi les chercheurs et praticiens, qui se sont intéressés à la question de la transition de carrière (Knights et al., 2016).

Dans ces conditions, quelles ressources fournir aux athlètes au cours de leur carrière sportive professionnelle pour faire face à la diversité de ces exigences ? Comment envisager un développement des athlètes articulant exigences de performance du haut niveau (i.e., employabilité à court terme), santé psychologique (i.e., aptitude au travail) et transition de carrière réussie et performance dans d'autres domaines post-carrière (i.e., employabilité à long terme) ?

Le développement des compétences émotionnelles des athlètes, de façon précoce au cours de leur carrière, semble être une piste intéressante pour répondre à ces différents enjeux, dans la mesure où elles seraient en mesure d'alimenter les principaux indicateurs de durabilité identifiés. Faisant à l'heure actuelle relativement consensus, parmi une diversité de modèles existants, le modèle tripartite de l'intelligence émotionnelle définit les compétences émotionnelles comme la capacité d'un individu à identifier, comprendre, exprimer, réguler et utiliser ses propres émotions et celles des autres, afin de satisfaire aux exigences des situations auxquelles il est confronté (Mikolajczak, 2009). Autrement dit, l'idée générale derrière ce concept réside dans le fait que face à une situation, ce n'est pas tant l'émotion éprouvée par un individu qui importe, mais bien ce qu'il sera capable d'en faire (Dosseville et al., 2016).

Nous développerons ainsi l'idée selon laquelle les compétences émotionnelles peuvent constituer des ressources intéressantes pour une carrière sportive durable, en montrant les liens qu'elles entretiennent avec l'employabilité à court terme, l'aptitude au travail et l'employabilité à long terme. Certains liens sont encore lacunaires dans le domaine sportif, ce pourquoi nous mobiliserons conjointement des données issues des sciences du sport et de la psychologie du travail.

2. LES COMPÉTENCES ÉMOTIONNELLES COMME RESSOURCES POUR UNE CARRIÈRE SPORTIVE DURABLE

2.1. Compétences émotionnelles et employabilité à court terme

L'employabilité à court terme renvoie à l'exigence prioritaire de performance du sport de haut niveau. Dans le contexte du sport et de l'exercice physique, une revue de littérature récente a conclu, à partir de six études, que des scores élevés à des échelles de mesure des compétences émotionnelles étaient liés à de meilleures performances athlétiques individuelles (Laborde et al., 2016). À l'échelle collective, peu de données dans le domaine du sport de haut niveau sont disponibles. Dans ces conditions, des travaux de thèse récents tentent de compléter ces connaissances en mettant en évidence le rôle des compétences émotionnelles dans la performance collective, en mettant en évidence qu'elles soutiennent des processus de travail en équipe directement orientés vers la performance ou en lien

avec la dynamique interpersonnelle de l'équipe. Des analyses quantitatives et qualitatives des produits et processus collectifs et émotionnels, dans des équipes de football en centre de formation, permettent de discuter de ces relations à différents niveaux. De façon plus générale, une revue systématique en cours d'élaboration, basée sur une quarantaine d'études issues de différents domaines (e.g., soins infirmiers, étudiants dans le supérieur, managers et employés en entreprises), apporte des données relativement précises sur les relations entre les compétences émotionnelles des individus et l'efficacité de processus de travail en équipe. Ainsi, les compétences émotionnelles des individus évoluant dans des collectifs seraient favorables à différents processus qui sous-tendent d'une part l'efficacité du travail en équipe, comme la communication, la coordination, le professionnalisme, la réflexion critique (i.e, analyse des problèmes, relations de cause à effets, planification) et d'autre part la dynamique interpersonnelle de l'équipe, comme la gestion des conflits, l'identification à l'équipe, le soutien entre membres de l'équipe.

2.2. Compétences émotionnelles et aptitude au travail

L'aptitude au travail désigne la capacité à faire face au stress et à mieux tolérer les exigences du contexte. La revue de littérature précédente (Laborde et al., 2016).a également identifié des liens entre le niveau de compétences émotionnelles des athlètes et des indicateurs de santé mentale comme les émotions ressenties, les réponses au stress physiologique et les habiletés psychologiques Les athlètes ayant des compétences émotionnelles plus développées ressentent par exemple davantage d'émotions plaisantes et des émotions déplaisantes de moindre intensité, présentent des indicateurs physiologiques (e.g., variabilité cardiaque) à des niveaux indiquant un bien-être plus élevé et utilisent plus régulièrement des techniques psychologiques comme les stratégies d'adaptation orientées vers la tâche, possèdent plus de capacité à se motiver efficacement et utilisent plus fréquemment le discours interne, l'imagerie et des techniques d'activation ou de relaxation.

2.3. Compétences émotionnelles et employabilité à long terme

L'employabilité à long terme fait référence à la transition de carrière et la productivité dans la carrière future via des compétences acquises au cours de la carrière sportive professionnelle. De rares études montrent comment les ressources fournies aux athlètes au cours de leur carrière sportive peuvent être transférées dans la carrière future et ainsi alimenter une durabilité à travers l'employabilité à long terme (Richardson & McKenna, 2020). Une revue de littérature et méta-analyse récente montre une corrélation positive significative ($r = 0.446$, $p < 0.001$) entre les compétences émotionnelles des individus et l'adaptabilité dont ils font preuve tout au long de leur carrière (Vashisht et al., 2021). Cette relation est d'abord expliquée par le fait que les individus utilisent des compétences émotionnelles et cognitives pour élaborer des récits de carrière, leur permettant de prendre du recul sur leur trajectoire passée et ainsi de faire des choix plus pertinents pour la suite de leur carrière (Brown et al., 2003). Elle est ensuite expliquée par le rôle important joué par les émotions dans les décisions liées à la carrière. Les individus discutent de leurs options de carrière avec d'autres et ceux qui comprennent mieux leurs émotions seraient plus autorégulés et pourraient donc prendre de meilleures décisions professionnelles, ce qui expliquerait en quoi les compétences émotionnelles apparaitraient comme un facteur prédictif important de l'adaptabilité professionnelle (Celik & Storme, 2018; Parmentier et al., 2019).

3. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les travaux présentés sont à même de soutenir l'idée selon laquelle le développement des compétences émotionnelles des athlètes constituerait une voie prometteuse pour une carrière professionnelle plus durable. Envisagées à court termes, les compétences émotionnelles des athlètes sont de nature à optimiser la performance, qu'elle soit individuelle ou collective, et donc à soutenir

l'employabilité immédiate des athlètes. Par ailleurs, leur développement serait favorable à une meilleure aptitude au travail et donc favorable à une meilleure santé mentale des athlètes. Enfin, des perspectives sont identifiées concernant l'étude précise du rôle des compétences émotionnelles dans la transition et l'après carrière dans le domaine sportif. Les liens identifiés entre les compétences émotionnelles et la possibilité d'une meilleure durabilité de la carrière sportive, envisagée à différents niveaux, invitent à poursuivre le développement des compétences émotionnelles des athlètes dans le cadre d'études interventionnelles.

4. BIBLIOGRAPHIE

Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands–resources theory: Taking stock and looking forward. Journal of Occupational Health Psychology, 22, 273–285. https://doi.org/10.1037/ocp0000056

Battochio, R. C., Stambulova, N., & Schinke, R. J. (2016). Stages and demands in the careers of Canadian National Hockey League players. Journal of Sports Sciences, 34(3), 278–288. https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1048523

Brown, C., George-Curran, R., & Smith, M. L. (2003). The role of emotional intelligence in the career commitment and decision-making process. Journal of Career Assessment, 11(4), 379–392.

Celik, P., & Storme, M. (2018). Trait emotional intelligence predicts academic satisfaction through career adaptability. Journal of Career Assessment, 26(4), 666–677.

De Vos, A., & Gielens, T. (2014). System level practices to facilitate sustainable careers. European Network on Career & AGE (Age, Generations, Experience), Seville, Spain.

De Vos, A., & Van der Heijden, B. I. (2015). Handbook of research on sustainable careers. Edward Elgar Publishing.

De Vos, A., Van der Heijden, B. I., & Akkermans, J. (2020). Sustainable careers: Towards a conceptual model. Journal of Vocational Behavior, 117, 103196.

Dosseville, F., Laborde, S., & Allen, M. S. (2016). L'intelligence émotionnelle dans le sport. Campo, M. et Louvet, B. Les Émotions En Sport et En EPS, 12, 245–261.

Knights, S., Sherry, E., & Ruddock-Hudson, M. (2016). Investigating Elite End-of-Athletic-Career Transition: A Systematic Review. Journal of Applied Sport Psychology, 28(3), 291–308. https://doi.org/10.1080/10413200.2015.1128992

Kujala, U. M., Orava, S., Parkkari, J., Kaprio, J., & Sarna, S. (2003). Sports career-related musculoskeletal injuries: Long-term health effects on former athletes. Sports Medicine, 33, 869–875.

Laborde, S., Dosseville, F., & Allen, M. S. (2016). Emotional intelligence in sport and exercise: A systematic review. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 26(8), 862–874.

Lawrence, B. S., Hall, D. T., & Arthur, M. B. (2015). Sustainable careers then and now. In Handbook of research on sustainable careers (pp. 432–450). Edward Elgar Publishing.

Mikolajczak, M. (2009). Going beyond the ability-trait debate: The three-level model of emotional intelligence. E-Journal of Applied Psychology, 5(2).

Nicholls, A. R., Holt, N. L., Polman, R. C. J., & Bloomfield, J. (2006). Stressors, Coping, and Coping Effectiveness among Professional Rugby Union Players. The Sport Psychologist, 20(3), 314–329. https://doi.org/10.1123/tsp.20.3.314

Parmentier, M., Pirsoul, T., & Nils, F. (2019). Examining the impact of emotional intelligence on career adaptability: A two-wave cross-lagged study. Personality and Individual Differences, 151, 109446.

Richardson, J., & McKenna, S. (2020). An exploration of career sustainability in and after professional sport. Journal of Vocational Behavior, 117, 103314. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2019.06.002

Ristolainen, L., Kettunen, J. A., Kujala, U. M., & Heinonen, A. (2012). Sport injuries as the main cause of sport career termination among Finnish top-level athletes. European Journal of Sport Science, 12(3), 274–282.

Taylor, E. A., Huml, M. R., & Dixon, M. A. (2019). Workaholism in sport: A mediated model of work–family conflict and burnout. Journal of Sport Management, 33(4), 249–260.

Thelwell, R. C., Weston, N. J. V., & Greenlees, I. A. (2007). Batting on a sticky wicket: Identifying sources of stress and associated coping strategies for professional cricket batsmen. Psychology of Sport and Exercise, 8(2), 219–232. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.04.002

Vashisht, S., Kaushal, P., & Vashisht, R. (2021). Emotional intelligence, personality variables and career adaptability: A systematic review and meta-analysis. Vision, 0972262921989877.

ÉPIQUE 2023 : Symposium 105

Quelles approches pour développer la collaboration Human/IA (Human Autonomy Teaming) dans le domaine de l'aéronautique ?

Organisateurs :

Julien Donnot, Département de Médecine Aéronautique Opérationnelle
Base aérienne 118 Colonel Rozanoff, 40118 Mont-de-Marsan
julien.donnot@intradef.gouv.fr
&

Nicolas Mavromatis, Institut de Recherche Biomédicale des Armées
1 Place Général Valérie André, 91220 Brétigny-sur-Orge
nicolas.mavromatis@def.gouv.fr

OBJECTIFS

Les avancées technologiques des dernières décennies ont permis l'évolution des systèmes automatisés vers un fonctionnement toujours plus autonome. Cette autonomie se distingue de l'automatisation par la capacité d'un système à surveiller son état et à prendre des décisions par lui-même (Barnes, Chen, & Hill, 2017). De même, l'autogestion, l'adaptabilité et l'apprentissage sont de nouvelles caractéristiques importantes de l'autonomie par rapport à l'automatisation.

Les progrès de l'intelligence artificielle remettent en question la vision traditionnelle de ces systèmes en tant que simples outils. Les systèmes autonomes sont ainsi de plus en plus utilisés en étant associés aux humains dans des tâches réalistes (Demir et al., 2017), voire pour collaborer avec l'humain. Le caractère de plus en plus agentique et collaboratif de ces systèmes offre (ou impose) la possibilité d'un nouveau rapport entre l'utilisateur et le système : L'idée de l'implantation d'un travail en équipe remplace peu à peu la vision d'une utilisation unidirectionnelle du système.

Cette nouvelle relation entre l'utilisateur et un système intelligent, appelée Human-Autonomy Teaming (HAT) présente de nombreux avantages : les systèmes autonomes actuels ont souvent des capacités de calcul qui dépassent les capacités humaines en termes d'ampleur et de vitesse, et ils disposent souvent de meilleurs capteurs que les humains (Arkin, 2009 ; Scharre, 2018). Enfin, les systèmes d'intelligence artificielle ont le potentiel de fournir un effort utile qui peut modérer la charge de travail de l'opérateur humain (Kaber & Endsley, 2004), améliorer la conscience de la situation (Gorman et al., 2006), et améliorer les résultats de la performance de l'équipe (Kaber et al., 2001).

Le domaine aéronautique constitue un terrain expérimental idéal pour les études de la collaboration entre humains et systèmes autonomes. En effet, l'utilisation du système automatisé a pris place très tôt dans l'histoire de l'aéronautique permettant de compenser les limites physiques et physiologiques des équipages. A mesure que les performances et la fiabilité des appareils augmentaient, de nouveaux outils ont dû être développés pour assister les aviateurs dans les taches de pilotage et dans la gestion de mission. Les équipages des avions de lignes sont passés de 5 membres au milieu du siècle dernier à 2 membres pour les avions de ligne actuels. Avec l'arrivée de systèmes autonomes plus performants, des projets de flotte avec un seul membre d'équipage humain, assisté par un système autonome sont aujourd'hui étudiés.

La mise à profit de ces innovations technologiques intéresse aussi fortement le domaine de l'aviation militaire. L'arrivée de systèmes intelligent permet de repenser le déploiement des escadrons mais aussi les capacités intrinsèques des futurs avions de combat.

Cependant, le niveau de risque éminemment élevé du domaine aéronautique oblige à réfléchir à la meilleure manière d'intégrer ces systèmes automatisés mais aussi à préparer au mieux la composante humaine à leurs interactions et ainsi éviter les écueils déjà rencontrés lors de l'intégration de l'automatisation au sein des cockpits.

La relation humain-système évolue ainsi d'une pure supervision avec l'automatisation traditionnelle à une relation dynamique impliquant la coopération et le travail d'équipe.

De plus, dans cette nouvelle dynamique d'interaction, l'humain a un aperçu moins direct des actions et des processus de la machine et de leur impact immédiat sur l'environnement partagé. La complexité des algorithmes de ces systèmes autonomes rend leur fonctionnement opaque ce qui pourrait nuire à la compréhension et donc à la mise en place d'une coopération optimale entre les deux éléments de l'équipe.

Si jusqu'à présent, la prise en compte de l'humain dans les relations humain-machine a souvent été mise en retrait au profit d'un travail sur les capacités intrinsèques du système ; la redéfinition des relations humain-système dans le cadre de HAT impose de placer l'humain au centre de la conception de ces équipes hybrides humain-système. L'objectif de ce symposium sera de faire le point sur les recherches actuelles et futures approches concernant le HAT dans le domaine aéronautique. Des stratégies de sa mise en place, aux concepts clés à prendre en compte lors de la conception de ces systèmes automatisés, nous nous intéresserons au futurs défis qui accompagnent l'intégration du HAT dans le domaine de l'aéronautique civile, militaire voire dans les domaines militaires maritimes et terrestres.

STRUCTURATION

Le symposium s'ouvrira sur un exposé introductif réalisé par les organisateurs. D'une durée d'environ 5 minutes il visera à établir et définir le contexte du symposium ainsi qu'à présenter les différents orateurs. La suite du symposium sera scindée en deux parties :

La première partie du symposium sera dédiée aux présentations des différents orateurs. Chaque présentation aura une durée de 15 minutes suivie d'une période de 5 minutes dédiée aux questions de l'auditoire en lien avec la présentation réalisée.

A la suite de ces présentations, une table ronde de discussion entre l'auditoire et les orateurs aura lieu. Cette table ronde sera l'occasion d'évoquer des thèmes plus larges et généraux que ceux exposés lors des présentations et ceci afin de favoriser la discussion et les interactions. Cette table ronde aura une durée d'environ 30 minutes et sera l'occasion de confronter différents avis et visions sur le thème de l'Human-Autonomy Teaming.

CONTRIBUTEURS AU SYMPOSIUM

- Orateur : Marine Pagliari & Bruno Berberian
- Affiliation : ONERA
- Contact : bruno.berberian@onera.fr

- Titre de la présentation : Cognition humaine et interaction humain-autonomie : le rôle de l'agentivité
- Résumé : Les progrès technologiques plus ou moins récents ont profondément modifié les interactions entre l'humain et son environnement. Aujourd'hui, l'être humain est habitué à interagir avec des systèmes plus ou moins autonomes qui l'assistent dans son quotidien. Cette tendance est d'autant plus présente dans des domaines dits critiques (aéronautique, nucléaire, ...) pour lesquels l'être humain est

souvent considéré comme une source d'erreur à "éliminer". Une telle évolution s'accompagne cependant de nouvelles problématiques facteurs humains, notamment connues sous le terme de phénomène de sortie de boucle, qu'il est nécessaire de mieux appréhender. Au cours de cette présentation, nous défendrons l'idée selon laquelle les mécanismes liés à l'agentivité (le fait d'être un agent intentionnel d'une action et les mécanismes prédictifs associés) constituent un médiateur important de ce phénomène de sortie de boucle. A travers différentes études, nous montrerons comment cet état d'agentivité évolue avec l'automatisation, comment il impacte notre manière de percevoir le monde et notre engagement dans la tâche en cours, et enfin comment il permet d'imaginer des principes de conception visant à compenser ce phénomène de sortie de boucle.

- Orateur : Philippe Rauffet
- Maitre de conférence - Université Bretagne-Sud
- Contact : philippe.rauffet@univ-ubs.fr
- Titre de la présentation : : Human-Autonomy Teaming : mieux prendre en compte l'état de l'opérateur humain, pour mieux adapter la coopération humain-machine
- Résumé : Le paradigme Human-Autonomy Teaming (HAT) a récemment émergé pour concevoir des équipes hybrides, dans lesquelles un opérateur humain coopère avec un agent artificiel autonome. Un défi majeur est de transformer cet agent autonome en un meilleur coéquipier, capable de plus d'interdépendance avec les humains. Les travaux présentés explorent deux axes, soutenus par des collaborations industrielles, notamment dans le domaine du transport aérien.
  Le premier axe porte sur la classification et le suivi de la charge mentale et des modes de contrôle de l'opérateur, afin de doter la machine d'une capacité de détection des difficultés rencontrées par l'humain. Le deuxième axe traite des mécanismes d'adaptation de ces équipes, pour rendre la machine plus "compatible" avec l'humain. Nous nous intéressons notamment à l'adaptation dynamique de la coopération humain-machine, où le système autonome peut être un coéquipier à l'intérieur de l'équipe, ou un coach au-dessus de l'équipe.
  Ces travaux permettent enfin de dresser quelques perspectives, notamment autour du dialogue et de la confiance entre agents humains et techniques pour améliorer le Human-Autonomy Teaming.

- Orateurs : Julien Donnot & Jaime Diaz Pineda
- Affiliations : Respectivement Thales et CEAM
- Contact : julien.donnot@intradef.gouv.fr
- Titre de la présentation : Comment l'utilisation du métasolveur COMBI transforme l'activité de planification et d'anticipation du pilote de chasse.
- Résumé : le CEAM et Thales collaborent pour le développement de briques d'IA au profit du pilote de chasse. Le métasolveur COMBI se présente comme un agent artificiel permettant à l'humain de configurer une multitude de solveurs complexes par la simple formulation d'intention abstraites. La traduction de concepts volontairement subjectifs en un paramétrage précis de contraintes techniques représente une fonctionnalité innovante mais dont les effets sur l'activité humaine restent inexplorés. L'importance de l'enjeu, à savoir mener à bien des opérations aériennes militaires avec un tel système, pousse le CEAM à se poser la question de son impact sur des capacités déterminantes de la performance opérationnelle telles que l'anticipation et la planification. Nous avons, à travers cette étude, cherché à répondre à comment un outil aussi performant dans la planification réactive en temps réel incite le pilote de chasse à s'appuyer sur la technologie IA et à ne plus ressentir la nécessité d'anticiper.

Cognition humaine et interaction homme-autonomie : le rôle de l'agentivité.

Marine Pagliari
Ba 701, 13660 Salon de Provence
Marine.Pagliari@gmail.com
Bruno Berberian
Ba 701, 13660 Salon de Provence
Bruno.Berberian@onera.fr

RÉSUMÉ

Les progrès technologiques plus ou moins récents ont profondément modifié la manière dont les êtres humains interagissent avec leur environnement. Aujourd'hui, les êtres humains sont habitués à interagir avec des systèmes plus ou moins autonomes qui les assistent dans leur quotidien, entrainant de nouvelles problématiques facteurs humains, comme le phénomène de sortie de boucle. Au cours de ce papier, nous défendons l'idée selon laquelle les mécanismes liés à l'agentivité (le fait d'être un agent intentionnel d'une action et les mécanismes prédictifs associés) constituent un médiateur important de ce phénomène de sortie de boucle. Après avoir décrit l'expérience d'agentivité, son émergence ainsi que son importance, nous montrons l'impact de l'automatisation des systèmes sur ce mécanisme d'agentivité et proposons enfin des principes de conception visant à compenser ce phénomène de sortie de boucle.

MOTS-CLÉS

Interactions humain-automatisation ; Sortie de boucle ; Sentiment d'agentivité ; Responsabilité ; Opacité

1. AUTOMATISATION ET SORTIE DE BOUCLE

L'être humain invente des moyens d'automatiser son travail depuis des milliers d'années. Bien que source de progrès évident, cette automatisation a également engendré une profonde transformation de la nature des activités humaines, passant d'un contrôle manuel direct vers un contrôle par supervision partielle et parfois même totale. Cette automatisation s'est ainsi accompagnée d'un éloignement de l'opérateur de la boucle de contrôle, phénomène appelé *sortie de boucle*. Le concept de *sortie de boucle* renvoie à la notion même de contrôle. En tant qu'êtres humains, nous percevons par nos sens, analysons et prenons des décisions par le biais de fonctions cognitives et agissons en utilisant nos membres. En parallèle, les actions générées produisent des évènements dans l'environnement qui sont utilisés en retour pour ajuster nos actions futures. Plus précisément, dans le langage de la théorie du contrôle, un système a un état désiré, un moyen d'ajuster le système vers cet état désiré, et ensuite une boucle de rétroaction dans laquelle l'état réel du système est comparé à l'état désiré, de sorte qu'une correction supplémentaire peut être effectuée s'il y a un décalage. On parle ainsi de *boucles de contrôle*. Par sortie de boucle, il est ici considéré que l'automatisation va remplacer l'opérateur humain à ces différentes étapes de la boucle de contrôle. Il est important de noter qu'il n'existe pas une réalité unique lorsqu'on parle d'*automatisation* mais plutôt un continuum de "l'homme fait tout manuellement" à "la machine fait tout et ignore l'homme". Ainsi, différentes échelles de niveaux d'automatisation ont été proposées. En fonction du niveau d'automatisation, l'opérateur humain peut-être être complétement ou partiellement remplacé par des algorithmes dans

les étapes de perception, de décision et/ou d'action, introduisant une distance plus ou moins grande entre l'opérateur et les actions du système.

Or, des décennies de recherche en facteurs humains démontrent les difficultés associées à cette sortie de boucle (*OOTL performance problem*, Merat et al. 2019) se traduisant notamment par une incapacité de la part des opérateurs humains à comprendre le comportement des systèmes automatisés, ainsi que des difficultés dans la détection des erreurs du système, entrainant ainsi une inefficacité de la reprise en main du système en cas de défaillance et donc de potentiels incidents. Il apparait dès lors important de considérer les fonctions cognitives en jeu lors de phénomène de sortie de boucle de contrôle (Berberian et al., 2017). En ce sens, nous avons proposé d'aborder ces transformations sous l'angle de l'agentivité, une fonction cognitive sous-tendant l'expérience de contrôle. L'hypothèse sous-jacente est celle d'un lien entre l'éloignement de la boucle de contrôle et l'expérience subjective de contrôle (Berberian, 2019). Or, nous le verrons par la suite, cette expérience de contrôle peut moduler de manière dramatique le comportement des opérateurs humains. La suite de cet article a pour objectif de définir ce concept, de mettre en évidence le lien entre phénomène de sortie de boucle et sentiment d'agentivité, ainsi que de proposer des principes de conception à adopter pour restaurer cette expérience d'agentivité.

2. AGENTIVITE : PILIER DU CONTRÔLE ET DE LA RESPONSABILITE DES ACTIONS

Le terme *sense of agency*, ou agentivité, fait référence à l'expérience de contrôler ses propres actions et, à travers elles, le cours des événements dans le monde extérieur (Haggard, 2017). De nombreuses études se sont intéressées à l'émergence de cette expérience consciente et plusieurs modèles ont été proposés (voir Moore, 2016). Ces études ont notamment démontré que cette expérience d'agentivité semble activement construite par le cerveau qui intègre continuellement une multitude d'indices (Synofzik, Vosgerau, & Voss, 2013) : indices liés à la prise en compte des conséquences sensorielles de mes actions (écart entre les conséquences observées et les conséquences prédites, valence émotionnelle, performance), aux mécanismes qui précédent la réalisation de l'action (fluidité de la sélection de l'action, libre choix, quantité d'effort générée lors de la sélection de l'action) ou encore au contexte sociale (présence d'autrui, situations de soumission à l'autorité) (pour plus de détails, voir Pagliari et al., 2022).

L'émergence du sentiment d'agentivité est essentielle dans notre société actuelle, en particulier car le lien entre intentionnalité, contrôle et responsabilité est directement inscrit dans notre système pénal (pour plus de détails, voir Bigenwald et Chambon, 2019). Au-delà de ces aspects légaux et éthiques, ce lien entre agentivité et responsabilité est également présent d'un point de vue individuel, de sorte qu'un être humain se sent moins responsable de ses actions lorsqu'il n'exerce pas de contrôle volontaire sur celles-ci (Caspar et al, 2016). Cette perte de responsabilité est concomitante d'une altération des mécanismes cérébraux engagés dans le traitement des conséquences de nos propres actions allant jusqu'à entrainer l'adoption des comportements déviants (Caspar et al, 2017). Il semblerait donc exister un lien entre sentiment d'agentivité, responsabilité et prise en compte du résultat de nos propres actions sous la forme d'un désengagement vis-à-vis des conséquences de ces actions. Dès lors, se pose la question du lien entre perte d'agentivité et efficacité de la supervision : est-ce que l'incapacité de l'opérateur humain à assumer de manière efficace son rôle de superviseur pourrait être induite par le désengagement de la tâche de supervision dû à une perte d'agentivité ? Si la démonstration n'est pas aujourd'hui complète, des premiers travaux semblent bien indiquer un tel désengagement de la tâche de supervision concomitant à la perte d'agentivité (voir Gouraud et al. 2018; Somon et al., 2023). Il apparait donc probable que l'environnement socio-technologique dans lequel évolue l'opérateur humain puisse impacter le développement de cette expérience de contrôle, d'autant que l'automatisation grandissante des systèmes vient directement impacter la nature même du contrôle exercé par l'opérateur.

3. AUTOMATISATION ET AGENTIVITE

Récemment, l'émergence de ce sentiment d'agentivité lors de nos interactions avec la technologie a été questionnée. Il a ainsi été démontré que l'automatisation pouvait altérer notre expérience de contrôle à différents niveaux (pour une revue sur la question, voir Pagliari et al., 2022). Utilisant une tâche d'évitement d'obstacle, nous avons notamment pu démontrer que l'augmentation du niveau d'automatisation diminue l'émergence du sentiment de contrôle (McEneaney, 2013 ; Berberian et al., 2012 ; Limerick, Coyle & Moore, 2014), résultat depuis confirmé par d'autres travaux (Zanatto et al., 2021). De manière intéressante, cette expérience de contrôle semblait décroitre de manière proportionnelle au niveau d'automatisation : plus le niveau d'automatisation est élevé, moins l'expérience de contrôle est forte. Au-delà de l'impact de l'automatisation sur l'expérience d'agentivité lors d'actions individuelles, plusieurs études relatives au développement de l'agentivité dans des situations d'action conjointe tendent à mettre en évidence une distinction claire entre le sentiment d'agentivité ressenti par un agent humain lorsqu'il interagit avec un autre humain par rapport à une machine (Obhi & Hall, 2011). De plus, l'agentivité semble également impacter les mécanismes sensoriels. Il apparait notamment que les mécanismes prédictifs mis en jeu lors de nos actions volontaires engendreraient une optimisation des mécanismes perceptifs, notamment des mécanismes d'intégration multi-sensorielle (Wen et Haggard, 2018 ; Rineau et al., 2023). Enfin, un lien entre expérience d'agentivité et acceptabilité du système a été démontré, de sorte qu'une diminution du sentiment de contrôle lors d'interactions avec des systèmes fortement automatisés s'accompagne d'une diminution de l'acceptabilité du système (voir Le Goff et al., 2018).

Pris dans leur ensemble, ces différents résultats tendent à valider l'hypothèse selon laquelle l'automatisation des systèmes peut dégrader notre expérience d'agentivité. Or, cette perte d'agentivité est loin d'être anecdotique comme en témoigne le lien entre intentionnalité, contrôle et responsabilité. La question de notre capacité à proposer des principes de conception permettant de supporter le développement du sentiment d'agentivité lors de nos interactions avec des environnements fortement automatisés se pose alors.

4. AGENTIVITE ET PRINCIPE DE CONCEPTION

Nous proposons que l'opacité des systèmes est un facteur principal altérant l'émergence de l'expérience de l'agentivité lors des interactions Humain-Automatisme. En particulier, cette opacité génère des difficultés pour l'opérateur humain à relier l'intention du système à l'état réel et à prédire la séquence des événements qui vont se produire. Ce problème de transparence a connu un fort intérêt au cours des dernières années, notamment porté par les champs d'investigation autour de l'explicabilité de l'IA (*XAI*) ou encore de collaboration Humain-Autonomie (*Human Autonomy Teaming*). Aujourd'hui, de nombreux modèles ont été proposés dans le but de concevoir des systèmes plus transparents et de renforcer la coopération entre les opérateurs humains et la machine. Dans la majorité de ces travaux, la transparence est considérée à travers des explications de types causales : le système A fait une action B pour telles ou telles raisons. Inspirés par les théories de l'action conjointe (c.-à-d., une action réalisée de manière collective pour atteindre un but commun), nous proposons une explication de nature différente basée sur la communication des intentions du système : *Intention based explanation* (voir Pagliari et al., 2022; Le Guillou et al., 2022). La communication des intentions a en effet déjà démontré son importance lors des interactions humain-humain (Pacherie, 2012). De plus, Gallotti et al. (2017) ont proposé que la nature des informations échangées entre les agents en interaction est cruciale pour déterminer la nature sociale ou non sociale d'une interaction humaine, plutôt que l'existence ou l'absence d'un objectif partagé. Leur affirmation centrale est que la cognition sociale concerne le processus dynamique d'alignement des esprits individuels, même en l'absence d'un objectif partagé. Cet "alignement de l'esprit" apparaît dans les interactions sociales impliquant l'échange réciproque d'informations par lesquelles les individus ajustent leur esprit et leur corps de

manière graduelle. A cet effet, la communication des intentions lors des interactions humain-automatisation pourrait donc faciliter l'émergence du sentiment de contrôle des opérateurs humains. Nous proposons donc que le contenu informationnel à transmettre pour favoriser un tel alignement mental dans les interactions humain-système automatisé soit l'intention du système à plusieurs niveaux du Distal-Proximal-Moteur model (Mylopolous & Pacherie, 2019) en fonction du besoin et de la spécificité de l'interaction en question (qu'il s'agisse d'améliorer l'appropriation corporelle, la prédiction de la tâche, le sentiment de contrôle et/ou l'acceptabilité à l'égard de l'agent artificiel). Nous avons notamment comparé l'expérience d'agentivité des opérateurs en charge de la supervision d'un système autonome lorsque celui-ci communique ou non ses intentions (Le Goff et al., 2018). Par intention, il est ici considéré « une représentation initiale d'un but ou d'un état à atteindre, qui précède l'initiation du comportement lui-même » (Pacherie, 2000). Nous avons démontré que la communication des intentions du système, i.e. action que souhaitait réaliser le système préalablement à son action, permettait d'augmenter l'expérience d'agentivité dans une tâche de supervision ainsi que l'acceptabilité du système (Le Goff et al., 2018). Plus récemment, nous avons également démontré l'intérêt de la communication des intentions lors d'une action conjointe, notamment en termes de confiance dans le partenaire artificiel (voir Le Guillou et al., in press).

Au cours de cet article, nous avons mis en évidence le rôle du sentiment d'agentivité dans l'émergence du phénomène de sortie de boucle. Étant donné le rôle clef que joue cette expérience d'agentivité sur la régulation des comportements humains, mais aussi son impact sur les mécanismes perceptifs ou encore sur l'acceptabilité des systèmes, il nous apparait critique de questionner la capacité à concevoir des systèmes qui favorise l'émergence de cette expérience de contrôle. Nos résultats ouvrent des pistes intéressantes quant à la manière de favoriser l'émergence de l'expérience d'agentivité lors de nos interactions avec des environnements automatisés, plus ou moins autonomes. Ces travaux contribuent ainsi au vaste champ d'étude portant sur la transparence des systèmes, en proposant notamment un nouveau cadre théorique, celui de l'agentivité, permettant d'identifier les informations nécessaires à l'expérience de contrôle de l'opérateur humain. De manière critique, la question est de savoir si cette expérience n'est qu'illusoire ou bien si au contraire, la communication des intentions du système permet de mettre en œuvre des mécanismes prédictifs utiles aux performances de supervision.

5. BIBLIOGRAPHIE

Berberian, B. (2019). Man-Machine teaming: a problem of Agency. *IFAC-PapersOnLine*, *51*(34), 118-123.

Berberian, B., Sarrazin, J. C., Le Blaye, P., et Haggard, P. (2012). Automation technology and sense of control: a window on human agency. *PloS one*, *7*(3), e34075.

Berberian, B., Somon, B., Sahaï, A., & Gouraud, J. (2017). The out-of-the-loop Brain: a neuroergonomic approach of the human automation interaction. *Annual Reviews in Control*, *44*, 303-315.

Bigenwald, A., et Chambon, V. (2019). Criminal responsibility and neuroscience: no revolution yet. *Frontiers in psychology*, *10*, 1406.

Caspar, E. A., Vuillaume, L., Magalhães De Saldanha da Gama, P. A., et Cleeremans, A. (2017). The influence of (dis) belief in free will on immoral behavior. *Frontiers in psychology*, *8*, 20.

Caspar, E. A., Christensen, J. F., Cleeremans, A., et Haggard, P. (2016). Coercion changes the sense of agency in the human brain. *Current biology*, *26*(5), 585-592.

Gallotti, M., Fairhurst, M. T., and Frith, C. D. (2017). Alignment in social interactions. Conscious. Cogn. 48, 253–261. doi: 10.1016/j.concog.2016.12.002

Gouraud, J., Delorme, A., et Berberian, B. (2018). Influence of automation on mind wandering frequency in sustained attention. *Consciousness and cognition*, *66*, 54-64.

Haggard, P. (2017). Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *18*(4), 196-207.

Le Goff, K., Rey, A., Haggard, P., Oullier, O., et Berberian, B. (2018). Agency modulates interactions with automation technologies. *Ergonomics*, *61*(9), 1282-1297.

Le Guillou, M., Prévot, L., et Berberian, B. (2022). Bringing Together Ergonomic Concepts and Cognitive Mechanisms for Human—AI Agents Cooperation. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 1-14.

Le Guillou, M., Prévot, L., et Berberian, B. (in press). Trusting artificial agents: communication trumps performance. InProc. of AAMAS 2023, London, United Kingdom, May 29

Limerick, H., Coyle, D., et Moore, J. W. (2014). The experience of agency in human-computer interactions: a review. *Frontiers in human neuroscience*, *8*, 643.

McEneaney, J. E. (2013). Agency effects in human–computer interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *29*(12), 798-813.

Merat, N., et al. (2019) The "Out-of-the-Loop" concept in automated driving: proposed definition, measures and implications. *Cognition, Technology & Work*, *21*, 87-98.

Moore, J. W. (2016). What is the sense of agency and why does it matter?. *Frontiers in psychology*, *7*, 1272.

Mylopoulos, M., and Pacherie, E. (2019). Intentions: The dynamic hierarchical model revisited. WIREs Cogn. Sci. 10:e1481. doi: 10.1002/wcs.1481

Obhi, S. S., et Hall, P. (2011). Sense of agency in joint action: Influence of human and computer co-actors. *Experimental brain research*, *211*, 663-670.

Pacherie, E. (2000). The content of intentions. *Mind & Language*, *15*(4), 400-432.

Pacherie, E. (2012). "The phenomenology of joint action: self-agency versus joint agency," in Joint attention, ed. A. Seemann (Cambridge, MA: The MIT Press), doi: 10.7551/mitpress/8841.003.0017

Pagliari, M., Chambon, V., et Berberian, B. (2022). What is new with Artificial Intelligence? Human–agent interactions through the lens of social agency. *Frontiers in Psychology*, *13*.

Rineau, A. L., Bringoux, L., Sarrazin, J. C., et Berberian, B. (2023). Being active over one's own motion: Considering predictive mechanisms in self-motion perception. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105051.

Somon, B., Campagne, A., Delorme, A., et Berberian, B. (2023). Brain mechanisms of automated conflict avoidance simulator supervision. *Psychophysiology*, *60*(2), e14171.

Synofzik, M., Vosgerau, G., & Voss, M. (2013). The experience of agency: an interplay between prediction and postdiction. *Frontiers in psychology*, *4*, 127.

Wen, W., et Haggard, P. (2018). Control changes the way we look at the world. *Journal of cognitive neuroscience*, *30*(4), 603-619.

Zanatto, D., Chattington, M., et Noyes, J. (2021). Human-machine sense of agency. *International Journal of Human-Computer Studies*, *156*, 102716.

Human-Autonomy Teaming : mieux prendre en compte l'état de l'opérateur humain, pour mieux adapter la coopération humain-machine

Philippe Rauffet
Equipe FHOOX, Lab-STICC UMR CNRS 6285, Université Bretagne Sud, philippe.rauffet@univ-ubs.fr

RÉSUMÉ

Le paradigme Human-Autonomy Teaming (HAT) a récemment émergé pour concevoir des équipes hybrides, où coopèrent opérateurs humains et agents artificiels autonomes. Un défi majeur du HAT est de transformer ces agents autonomes en de meilleurs coéquipiers, plus interdépendants avec leurs partenaires humains. Afin de répondre à ces nouveaux enjeux, deux axes de recherche sont investigués, notamment au travers d'exemples du domaine aérien. Le premier axe porte sur la classification de la charge mentale et des modes de contrôle de l'opérateur, afin de rendre la machine plus sensible aux difficultés rencontrées par l'humain. Le deuxième axe traite des mécanismes d'adaptation de ces équipes, pour rendre la machine plus "compatible" avec l'homme. Nous nous intéressons notamment à l'adaptation dynamique de la coopération humain-machine, où le système autonome peut être un coéquipier opérationnel, ou un « coach » supervisant l'équipe. Cet article dresse enfin quelques perspectives autour du dialogue humain-machine et de la confiance dans l'autonomie.

MOTS-CLÉS

Human-Autonomy Teaming, Charge mentale, Contrôle cognitif, Automatisation et Interfaces Adaptatives

1. INTRODUCTION : LE PARADIGME HUMAN-AUTONOMY TEAMING (HAT)

Les récentes avancées sur l'intelligence artificielle, les systèmes autonomes et la modélisation cognitive interroge sous un jour nouveau les processus de prise de décision et la répartition du travail entre les humains et les machines. De nombreuses questions doivent être traitées pour gérer l'activité conjointe et les nouvelles interférences qui apparaissent entre opérateurs humains et systèmes cyber-physiques dotés de capacités accrues. Le paradigme Human-Autonomy Teaming (HAT) a récemment émergé pour caractériser l'évolution de ces équipes hybrides et développer de nouvelles façons de penser les mécanismes de coopération au sein de ces entités (O'Neill et al., 2020). Dans ce paradigme, le système intelligent doit être perçu et accepté par les opérateurs humains comme un membre à part entière de l'équipe, et il doit avoir un rôle et une contribution clairement identifiables, comme cela pourrait être le cas avec un coéquipier humain. L'agent autonome doit donc être considéré comme un membre légitime de l'équipe et non plus comme un simple outil de soutien (Lyons et al., 2018). Cette distinction entre "coéquipier" et "outil" est un élément discriminant, isolant la configuration HAT des configurations précédemment explorées autour des concepts de HAI (Human-Automation Interaction) et de LOA (Levels of Automation). Par conséquent, dans un HAT, le système autonome doit également être en mesure de participer à des activités correspondant au "travail d'équipe", telles que la coordination ou la répartition de l'activité. Comme l'ont souligné Johnson et al. (2011), "l'amélioration de l'efficacité des équipes HAT ne repose pas uniquement sur les travaux visant à rendre les machines encore plus autonomes et plus indépendantes. Un défi important consiste également à trouver des solutions pour transformer les systèmes autonomes en meilleurs coéquipiers, capables de rejoindre les opérateurs humains dans des activités de coopération très interdépendantes et sophistiquées". Abbass et al. (2018) soulignent à nouveau cette perspective en expliquant que les systèmes autonomes doivent mûrir et apprendre à devenir des coéquipiers fiables. Faisant une analogie avec les modèles de développement et d'émancipation des enfants qui deviennent adultes, ces auteurs expliquent que

les machines sont déjà passés de la phase de dépendance (où les humains sont toujours présents pour contrôler leur comportement, pour les passer d'un état ou d'un mode à un autre) à la phase d'indépendance (où les machines, conscientes de l'environnement grâce à leurs capteurs et leurs capacités d'analyse de données, peuvent effectuer de nombreuses tâches et s'adapter à différentes situations sans intervention humaine). Cependant, cette phase d'indépendance est limitée et nécessairement transitoire : la machine, comme Icare se libérant de la tutelle de son père Dédale, ne peut pas continuer à progresser si elle ne connaît pas l'interdépendance sociale. En effet, c'est en interagissant avec les autres que la machine pourrait adapter son comportement, mais aussi influencer le comportement des autres et améliorer les performances collectives. Cependant, la voie vers l'interdépendance est tortueuse : il faut éviter le piège de la codépendance, où les machines et les humains ne peuvent pas se passer l'un de l'autre, et où ils risquent tous les deux de perdre leur autonomie. Comme prévient Koenig (2019), les systèmes intelligents, en assistant trop les humains, pourraient mettre fin à l'idée d'un humain autonome et responsable (avec une perte de compétences et des difficultés à rester dans la boucle de contrôle), qui ne pourrait plus à son tour défier et entraîner la machine à résoudre de nouveaux problèmes.

L'interdépendance des agents autonomes est censée augmenter l'efficacité des équipes homme-autonomie, notamment sur 4 critères (cf. Figure 1, dans les 4 rectangles) : sur la partie *« Team »* en bas à gauche de la figure, il s'agit de jouer sur la composition et l'organisation de l'équipe, avec une amélioration des compétences individuelles permettant une meilleure *qualité dans la prise de décisions* (en permettant aux humains de mieux détecter les faux positifs ou les omissions du diagnostic de l'agent autonome), et une diminution de la *charge mentale* l'opérateur humain (en évitant de lui donnant trop d'informations ou trop de tâche à traiter pour prendre une décision ou interagir dans un temps imparti) ; sur la partie *« Work »* en haut à droite de la figure, en fournissant aux humains une meilleure *conscience de la situation* et une *meilleure calibration de la confiance dans le système autonome* (sur la rationalité ou la fiabilité du comportement de l'agent) pour réaliser les tâches. Pour garantir une coopération humain-machine efficace (cf. Figure 1), il faut équilibrer ces 4 critères, afin d'éviter que l'équipe hybride ne devienne une *équipe aveugle* (avec une conscience de la situation limitée), une *"équipe instable"* (générant trop de charge mentale), une *"équipe incompétente"* (où la fiabilité de la machine et/ou la qualité des décisions humaines sont faibles), ou encore une *"pseudo-équipe"* (avec une confiance mal calibrée).

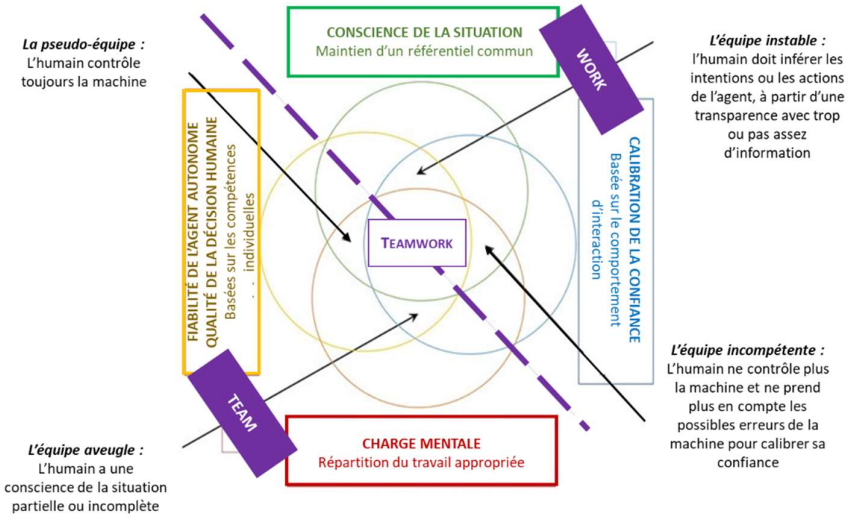


Figure 1 : Dimensions pour optimiser la HAT (Rauffet, 2021, adaptée de d'Angelo et al., 2019).

2. AXES DE RECHERCHE POUR LE HAT ET EXEMPLES APPLICATIFS DANS LE DOMAINE AERIEN

Afin d'améliorer l'interdépendance humain-système, et transformer les machines en meilleurs coéquipiers, deux axes de recherche peuvent particulièrement être investigués (Rauffet et al., 2021).

Axe 1 : Détection – Rendre l'agent autonome plus sensible à l'état cognitif de l'opérateur. Ce premier axe traite de la mesure, de la classification et de la surveillance de certains états cognitifs liés à la performance humaine, tels que la charge mentale, la fatigue mentale ou le stress. L'idée est de doter la machine d'une capacité de détection et de prédiction lorsque l'opérateur humain rencontre des difficultés et n'arrive plus à maîtriser la situation dynamique ou le système autonome. Cette sensibilité à l'état humain pourrait être considérée comme une première étape pour rendre la machine plus interdépendante de l'activité humaine. En effet, la détection d'un état non fonctionnel de l'opérateur pourra conduire à des adaptations du partage du travail entre l'homme et la machine, et cela aidera également les humains à prendre conscience de leurs états actuels et de leurs limites potentielles, grâce à un retour réflexif du système autonome. La littérature est abondante sur la question du suivi des états cognitifs tels que la charge mentale, la fatigue cognitive ou la tunnelisation attentionnelle (Dehais et al., 2017). Dans le cadre de projets en partenariat avec la DGA et Dassault Aviation sur l'activité de supervision d'essaims de drones, nous nous sommes intéressés à la création d'un indicateur de charge mentale synthétique qui fusionne des données objectives multidimensionnelles, telles que les exigences dynamiques de la tâche, les signaux neurophysiologiques de l'opérateur, la focalisation attentionnelle, les performances sur la tâche, ainsi qu'un codage objectif des régulations mises en œuvre par l'humain (priorisation de certaines tâches, relâchement de certaines contraintes, etc.). En utilisant la logique floue, des réseaux bayésiens et des techniques de machines learning (SVM et k-NN), nous avons développé des algorithmes permettant une détection multi-classes de 3 à 5 niveaux de charge mentale de l'opérateur (Kostenko et al., 2022). La validité de cette détection a été démontrée en corrélant les valeurs de cet indicateur objectif de charge mentale avec les scores donnés par les participants sur des questionnaires subjectifs (ISA ou SMEQ). Par ailleurs, nous avons exploré plus finement les phénomènes d'engagement et de régulation, lesquels peuvent expliquer certaines variations de charge mentale qui ne sont pas dues aux variations des exigences de la tâche. Au travers de projets avec Thalès et Airbus sur l'activité multitâche des pilotes d'avion, nous avons ainsi opérationnalisé l'évaluation des modes de contrôle cognitif tels que proposés dans le modèle COCOM (Hollnagel, 2003), et identifié un lien significatif entre l'implémentation de certains modes et une activation du cortex préfrontal, mesurée à l'aide d'un capteur fNIRS (Rauffet et al., 2022).

Axe 2 : Adaptation dynamique – Rendre l'agent autonome plus compatible avec l'opérateur. Le deuxième axe se concentre davantage sur les mécanismes d'adaptation de l'équipe humain-système, rendant la machine plus " compatible " avec l'humain. Cet axe peut bien sûr être lié à la première question de recherche puisque l'adaptation peut être conçue, voire déclenchée dynamiquement, grâce à la détection ou à la prédiction d'un état non fonctionnel de l'opérateur. Cette question peut être étudiée dans différentes configurations d'équipes hybrides. D'une part, il existe des organisations où le système autonome est à *l'intérieur de l'équipe* - en tant que coéquipier de l'opérateur humain, il détecte et gère les interférences entre leurs activités respectives. Dans ce cadre, on peut ainsi travailler sur l'amélioration du dialogue humain-machine avec des interfaces de supervision adaptative, ou encore sur l'allocation dynamique des fonctions (Rauffet et al., 2015). Dans nos études sur les activités de supervision de drones (Kostenko et al., 2016), nous avons utilisé notre indicateur synthétique de charge mentale pour déclencher des aides visuelles en cas de forte charge (augmentation de l'interface sur les cibles à surveiller), ou une délégation de certaines tâches en cas de surcharge (automatisation de la localisation précise de la cible). Ces adaptations sur une activité exploratoire ont montré une meilleure efficience (une meilleure performance, pour un niveau d'effort mental équivalent dans les

conditions avec et sans assistance). D'autre part, on peut également étudier les structures où le système autonome est *au-dessus de l'équipe* - comme un coach synthétique supervisant les interférences qui se produisent au sein d'une équipe humaine. C'est par exemple ce qui a été développé dans le cadre du projet ANR ASTRID TAPAS, où une preuve de concept a été proposée pour suivre l'activité de coopération de deux pilotes de chasse de Rafale, avec un suivi des communications et des états physiologiques. Nous avons ainsi implémenté la classification et détection des tâches collectives critiques dans des scénarios de qualification des pilotes, en étudiant la charge mentale générée (mesurée avec différents capteurs, notamment un EEG, un capteur GSR et oculomètre double) et/ou la dégradation de la communication (en termes d'écart à des standards, d'hésitations, ou de demandes de clarification d'un pilote vers l'autre). Cette détection alimentait ensuite une assistance cognitive, qui pouvait inciter un des pilotes à répéter une information ou à l'enrichir, pour garantir le maintien d'un référentiel commun (Lassalle et al., 2017).

3. PERSPECTIVES ET NOUVEAUX CHAMPS D'INVESTIGATION

Ces deux axes, déjà explorés depuis quelques décennies par la communauté HAI (Human-Automation Interaction), continuent d'être investigués et développés par la communauté HAT, qui doit traiter ces questions en tenant compte de la spécificité des agents autonomes et apprenants. Afin de faire émerger des équipes hybrides effectives et performantes, d'autres pistes attirent également l'attention depuis quelques années. La question de la transparence et de l'explicabilité sont par exemple des éléments de dialogue et d'interactions qu'il faut intégrer (Chen et al., 2017) pour améliorer la confiance entre l'humain et le système. Par ailleurs, comme dans le cadre d'une équipe humaine, la performance s'améliore avec l'expérience et l'apprentissage. Il faut donc réfléchir à des nouvelles modalités d'entraînement de ces équipes hybrides, et ce sur la durée, en travaillant sur l'apprentissage mutuel et l'entraînement adaptatif (Demir et al., 2019).

4. BIBLIOGRAPHIE

Abbass, H. A., Scholz, J., & Reid, D. J. (2018). Foundations of trusted autonomy. Springer Nature.

Chen, J. Y., Lakhmani, S. G., Stowers, K., Selkowitz, A. R., Wright, J. L., & Barnes, M. (2018). Situation awareness-based agent transparency and human-autonomy teaming effectiveness. Theoretical issues in ergonomics science, 19(3), 259-282.

D'Angelo, M., Cervero, R., Durning, S., & Varpio, L. (2019). The teamwork model: Proposing a model for studying interprofessional healthcare teams. MedEdPublish, 8.

Dehais, F., Behrend, J., Peysakhovich, V., Causse, M., & Wickens, C. D. (2017). Pilot flying and pilot monitoring's aircraft state awareness during go-around execution in aviation: A behavioral and eye tracking study. The International Journal of Aerospace Psychology, 27(1-2), 15-28.

Demir, M., McNeese, N. J., Johnson, C., Gorman, J. C., Grimm, D., & Cooke, N. J. (2019, April). Effective team interaction for adaptive training and situation awareness in human-autonomy teaming. In IEEE conference on cognitive and computational aspects of situation management (CogSIMA) (pp. 122-126).

Hollnagel, E. (2003). Context, cognition and control. Coop Process Manag, 27-52.

Johnson, M., Bradshaw, J. M., Feltovich, P., Jonker, C., van Riemsdijk, B., Sierhuis, M. (2011). The fundamental principle of coactive design: Interdependence must shape autonomy. Coin international workshops, LNAI (Vol. 6541, pp. 172–191).

Koenig, G. (2019). La fin de l'individu. Voyage d'un philosophe au pays de l'intelligence artificielle. Éditions de l'Observatoire.

Kostenko, A., Rauffet, P., Moga, S., & Coppin, G. (2019). Operator functional state: measure it with attention intensity and selectivity, explain it with cognitive control. Third International Symposium, H-WORKLOAD 2019, November. Rome, Italy

Kostenko, A., Rauffet, P., & Coppin, G. (2022). Supervised classification of operator functional state based on physiological data: Application to drones swarm piloting. Frontiers in Psychology, 12.

Lassalle, J., Rauffet, P., Leroy, B., Guérin, C., Chauvin, C., Coppin, G., & Saïd, F. (2017). COmmunication and WORKload analyses to study the COllective WORK of fighter pilots: the COWORK 2 method. Cognition, Technology & Work, 19, 477-491.

Lyons, J. B., Mahoney, S., Wynne, K. T., & Roebke, M. A. (2018). Viewing machines as teammates: A qualitative study. 2018 AAAI Spring Symposium Series

O'Neill, T., McNeese, N., Barron, A., & Schelble, B. (2020). Human–Autonomy Teaming: A Review and Analysis of the Empirical Literature. Human Factors, 0018720820960865.

Rauffet, P., Chauvin, C., Morel, G., & Berruet, P. (2015). Designing sociotechnical systems: a CWA-based method for dynamic function allocation. In Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics 2015 (pp. 1-8).

Rauffet, P. (2021). Tools and methods for Human-Autonomy Teaming: contribution to cognitive state monitoring and system adaptation (Doctoral dissertation, Université Bretagne Sud).

Rauffet, P., Said, F., Laouar, A., Chauvin, C., & Bressolle, M. C. (2022). Cognitive Control: Transitions in Control Modes Under Different Level of Workload and fNIRS Sensitivity. CCIS book series, volume 1609, Springer

Comment l'utilisation du métasolveur COMBI transforme l'activité de planification et d'anticipation du pilote de chasse ?

Julien Donnot & Jaime Diaz-Pineda

Centre d'Expertise Aérienne Militaire julien.donnot@intradef.gouv.fr,

Thalès Group jaime.diapineda@fr.thalesgroup.com

RÉSUMÉ

Le CEAM et Thales collaborent pour le développement de briques d'IA au profit des équipages de combat. Le méta-solveur COMBI se présente comme un agent artificiel permettant à l'humain de configurer en temps réel une multitude de solveurs complexes par la simple formulation d'intentions de haut niveau liées à l'objectif et de leurs préférences. La traduction d'objectifs volontairement subjectifs en un paramétrage précis de contraintes techniques représente une fonctionnalité innovante en matière d'optimisation de la charge cognitive mais dont les effets sur l'activité humaine restent inexplorés. L'importance de l'enjeu, à savoir mener à bien des opérations aériennes militaires avec un tel système, pousse le CEAM à se poser la question de son impact sur les capacités déterminantes de l'activité d'un pilote de combat telles que l'anticipation et la planification. Nous avons, à travers cette étude, cherché à mesurer comment un tel outil de planification réactive en temps réel incite le pilote de chasse à, d'une part s'appuyer sur la technologie IA et ne plus ressentir la nécessité d'anticiper et d'autre part, l'oblige à conscientiser les intentions qui sous-tendent ses modes d'actions.

MOTS-CLÉS

Aviation militaire, Intelligence artificielle, Planification, Anticipation, Intentions

1. INTRODUCTION

La démarche exposée dans la présente étude s'inscrit dans un triple contexte. Le premier, le contexte géopolitique, impose aux armées françaises de se préparer aux conflits de haute intensité présentant notamment une symétrie de moyens. Par conséquent, l'emploi des systèmes d'armes, l'entrainement des forces et le niveau d'engagement des troupes doivent évoluer significativement pour faire face à une adversité plus intense. L'ambition n'est plus de gagner à moindre coût mais de gagner tout court.

Ainsi, les ambitions politiques se combinent aux enjeux technologiques et amènent les nations à dériver du triptyque « paix-crise-guerre » vers celui de « compétition-contestation-affrontement ». La volonté du haut commandement se résume à vouloir « gagner la guerre avant la guerre ».

C'est dans cette posture de compétition que la considération du deuxième contexte, celui technologique, revêt son importance. Pour garantir un niveau dissuasif suffisant de la force militaire, il est nécessaire de s'appuyer sur une technologie robuste et performante. Le défi actuel est de devoir composer avec une technologie en plein essor, celle de l'intelligence artificielle, qui promet un niveau particulièrement élevé de performance mais présentant la fragilité propre aux systèmes en développement ainsi qu'une dépendance forte aux données nécessaires à leur apprentissage.

Le troisième et dernier élément de contexte est celui du contexte scientifique. La maitrise de la technologie dans le but de répondre aux exigences du champ de bataille dépend directement de notre

capacité à aborder les défis scientifiques relatifs à l'utilisation de l'intelligence artificielle. C'est un fait que l'ensemble des connaissances scientifiques relatives à la cognition humaine s'est particulièrement développé suite à l'introduction des automatismes dans l'aéronautique. Cependant, le développement rapide des systèmes à base d'intelligence artificielle renforce le constat que l'humain ne pourra pas exploiter à son juste niveau le potentiel des IA s'il persiste à les considérer comme de simples systèmes automatisés hyperpuissants.

Le défi qui se présente à l'Armée de l'Air et de l'Espace est d'être prête à faire travailler ses équipages avec des IA dès que possible. Cette contrainte exclut de facto la démarche consistant à attendre de disposer de systèmes techniques opérationnels pour définir la manière dont ils seront exploités par l'humain. De plus, cette temporalité est d'autant plus inenvisageable que la conception et l'apprentissage des systèmes à base d'IA requièrent des données issues de l'activité actuelle et future des utilisateurs.

Il est donc impératif d'apprendre en marchant, d'apprendre comment doit travailler l'humain avec des IA en même temps que ces mêmes IA sont développées en tenant compte du fait qu'un système inachevé ne peut pas être évalué comme on évalue un produit finalisé.

2. CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Pour s'affranchir d'une simple relation d'utilisation de l'objet IA par l'humain à l'instar de l'utilisation des automatismes par l'humain, une approche possible consiste à considérer que l'humain a besoin de comprendre et d'apprendre comment fonctionne l'IA. En effet, à l'instar de l'artefact conçu devenant un instrument pour l'utilisateur, l'opérateur doit découvrir les fonctions constituantes initiales pour créer les fonctions constituées révélatrices de l'activité (Rabardel, 1995). Dans cette perspective, les concepts d'assimilation et d'accommodation développés par Jean Piaget (1936) offrent un éclairage intéressant. En effet, admettons que chaque entité a besoin de savoir comment fonctionne l'autre pour pouvoir interagir de manière cohérente. Pour permettre à l'humain de mettre en œuvre le mécanisme d'assimilation, l'IA doit être en mesure de faire des propositions prévisibles, conformes aux attentes de l'humain et compréhensibles. Ainsi, l'humain engrange de l'expérience intégrant chaque comportement de l'IA dans sa structure de pensée existante. Lorsque l'IA propose des résultats imprévisibles et incompréhensibles sur l'instant, l'humain doit recourir au mécanisme d'accommodation et faire évoluer la représentation mentale qu'il se fait du fonctionnement de l'IA. Dans une moindre mesure, c'est déjà ce que nous faisons au quotidien lorsque nous apprenons, par essai et par erreur, le fonctionnement de nos machines actuelles qui nous renvoie à nos connaissances et nos croyances. Cependant, la pression temporelle n'est pas systématiquement présente dans nos situations du quotidien alors qu'elle l'est beaucoup plus souvent lors de la réalisation d'une opération aérienne. Dans ce cas, cette contrainte relative au temps disponible pour raisonner aurait tendance à limiter le traitement de niveau symbolique chez l'individu (Hoc & Amalberti, 2004).

Dans la présente étude, nous avons choisi de manipuler ces deux mécanismes pour mener l'évaluation d'un méta-solveur.

Pour comprendre ce qu'est un méta-solveur, nous pouvons partir du principe que les IA faibles se présentent comme des solveurs de contraintes qui assure une fonction bien particulière (e.g., calculer l'itinéraire le plus court). Cependant, ces algorithmes n'ont pas la capacité de reproduire le fonctionnement de la pensée humaine, mais juste le résultat. Si l'humain n'a pas connaissance de la méthode de conception du système, il n'est pas en mesure de comprendre le « cheminement » de l'IA faible. Pour se faire « pardonner », l'IA abreuve l'humain d'informations dont elle a tenu compte pour réaliser son opération et ces informations peuvent, dans certains cas, servir ou guider l'exploitation du résultat obtenu.

A partir du moment ou un système aussi complexe qu'un véhicule et *a fortiori* un système d'arme est concerné, une multitude de solveurs de contraintes sont mis en œuvre et chacun produit son lot d'informations qui surchargerait l'utilisateur s'il devait toutes les traiter. L'humain a besoin d'une synthèse qui ne peut être produite que par un système capable de gérer la multitude d'informations produite : le méta-solveur.

3. METASOLVEUR COMBI

COMBI est conçu à partir d'une technologie hybride appelée *genetic fuzzy tree* qui combine le raisonnement logique humain avec le *machine learning*. La particularité du méta-solveur COMBI est qu'il s'agit d'une IA communicante c'est-à-dire que la communication est bidirectionnelle et s'exécute dans un champ sémantique humain non expert. Pour cela, l'humain s'adresse à l'agent intelligent dit méta-solveur par l'activité intentionnelle, le niveau le plus élevé des trois régissant l'activité humaine selon Leontiev (1984). A l'initiative de la communication, l'utilisateur indique au méta-solveur ses préférences ou encore ses priorités en matière de motifs qui guident son action. En retour, le système produit une solution adaptée optimisant l'ensemble des solveurs qui composent le système afin de répondre au mieux aux intentions communiquées par l'humain.

Un solveur de contrainte peut être assimilé à un algorithme réalisant une opération connue sur la base de valeurs de paramètres variables. Ainsi, le résultat obtenu est directement défini par la valeur des paramètres en entrée (contraintes) et non par l'opération en elle-même. La fonction du premier solveur manipulé dans cette étude est de fournir la trajectoire à suivre pour rejoindre un objectif. Cette trajectoire se veut la plus rapide en fonction des priorités exprimées par l'utilisateur. Le besoin de sécurité représente le premier facteur déterminant de ce solveur car une trajectoire plus sécurisée va souvent engendrer une distance plus importante en raison notamment du contournement des zones de danger potentiel.

Le second solveur impliqué a pour fonction d'identifier la nature du capteur à utiliser ainsi que les zones géographiques dans lesquelles se trouver pour réaliser, sur l'objectif, une capture d'informations optimale.

Ainsi, la fonction du méta-solveur est de produire la trajectoire la plus rapide pour rejoindre ces zones de capture d'informations. Seulement, la zone idéale pour le senseur n'est probablement pas la plus sécurisée, il convient donc de trouver le meilleur compromis. Il existe une multitude de compromis possible et la fonction du méta-solveur est de trouver ceux répondant aux attentes de l'utilisateur. Les calculs associés à l'identification des compromis en fonction des priorités dans l'instant sont inaccessibles à l'utilisateur, c'est la raison pour laquelle le méta-solveur COMBI endosse la responsabilité de traduire les priorités (abstraites) de l'utilisateur en paramétrage (concret) des solveurs.

Pour traiter ces priorités, COMBI manipule 3 types d'abstractions opérationnelles.

3.1. Les critères opérationnels

Les critères opérationnels sont définis comme des valeurs conceptuelles permettant d'atteindre un objectif fixé, et ce, dans le respect de l'ensemble des contraintes constituant le critère. Thales a proposé les critères suivants : la survivabilité, l'efficacité, l'endurance, l'imprédictibilité, la vélocité et la synchronisation. Chaque critère est associé à la combinaison d'un ensemble de paramètres mesurables. Ainsi, être survivable se traduit par passer le moins de temps possible dans le domaine de tir d'un système anti-aérien, voler bas, se cacher dans les vallées, etc.

3.2. Les intentions opérationnelles

Un critère est considéré comme plus ou moins contraignant en fonction de l'intention opérationnelle qui lui est attribuée. Dans le cadre de l'évaluation de COMBI intégré à l'activité du pilote de chasse, les intentions opérationnelles ont été fixées comme suit : survivabilité maximale, efficacité maximale, endurance maximale et imprédictibilité maximale. La vélocité et la synchronisation n'ont pas encore été intégrées à ce stade de développement du système.

3.3. Les préférences opérationnelles

Les préférences opérationnelles se traduisent ensuite par l'attribution d'une priorité aux intentions opérationnelles. Par exemple, un pilote peut souhaiter rejoindre son objectif en étant au maximum survivable et avec le plus d'endurance possible, mais en donnant plus d'importance à la survivabilité qu'à l'endurance. C'est pour répondre à cette priorisation que COMBI doit trouver les compromis les plus satisfaisants et assiste ainsi le pilote dans la conduite de sa mission.

4. ACTIVITE COGNITIVE A ETUDIER

4.1. La mission

Quel que soit l'objectif d'une mission pour un équipage de combat, il opère systématiquement selon un schéma d'actions standardisé qui commence par la préparation de la mission. De manière simplifiée, car ce n'est pas l'objet du présent texte, cela consiste à définir la trajectoire optimale pour rejoindre l'objectif, le traiter et s'extraire de la zone, et ce, au regard des intentions opérationnelles. Un pilote va souvent privilégier l'efficacité à l'approche de sa cible, puis aura tendance à souhaiter être le plus survivable pour s'extraire de la zone. Pour cela, il s'adonne à une activité de planification, c'est-à-dire l'identification et le séquencement des actions nécessaires à réaliser en vol. Sachant pertinemment que rien ne va se dérouler comme prévu, le pilote a recours à la formulation de *what if.* Un *what if* consiste à prévoir la survenue d'un événement associé au choix de la réaction à adopter dans ce cas.

Cette activité d'anticipation est intimement liée à celle du maintien de la conscience de la situation (Endsley, 1995). En effet, chaque évolution de la situation tactique demande au pilote d'en évaluer l'impact sur les actions qu'il a planifié de réaliser et de s'adapter si nécessaire. Ainsi, les difficultés éprouvées par les pilotes pour assimiler suggéreraient une difficulté de leur part à planifier. Bien que partageant un référentiel commun avec l'IA, l'opérateur peinerait à produire un enchainement d'actions conformes à celles prévues par l'IA. Dans le cas de l'accommodation, des difficultés seraient révélatrices des complications rencontrées par l'opérateur pour s'adapter aux nouvelles actions prévues par l'IA.

4.2. L'intégration de l'IA dans l'activité humaine

COMBI propose au pilote de replanifier sa mission selon l'évolution du contexte et de ses préférences opérationnelles en l'espace de quelques secondes. Cette fonction rend, dans une certaine mesure, dispensable la formulation de *what if* relatifs à cette nouvelle trajectoire et aux capteurs à utiliser. En effet, lors du prochain changement de contexte, il suffira au pilote de solliciter COMBI plutôt que de recourir à l'activation du *what if* dédié.

L'anticipation reste cependant une composante déterminante de la faculté d'adaptation du pilote de chasse et la question principale de la présente étude est d'étudier l'impact de l'utilisation d'un système tel que COMBI sur la boucle cognitive d'anticipation-planification.

4.3. Etude du mécanisme d'assimilation

L'activité d'assimilation de la part du pilote sera analysée en évaluant le degré de correspondance entre la trajectoire produite en préparation de mission sans COMBI à celle proposée par COMBI et validée par le pilote. Lors de la mission, une forte convergence entre le contenu des *what if* et la replanification proposée par COMBI indiquera que le mécanisme d'assimilation est à l'œuvre. Cette convergence pourrait être plus ou moins facilitée par les préférences opérationnelles.

4.4. Etude du mécanisme d'accommodation

L'activité d'accommodation de la part du pilote sera quant à elle, analysée en évaluant 1) l'adéquation entre la formulation de nouveaux what if associés à une replanification de COMBI et 2) par comparaison de ces nouveaux what if avec ceux relevant d'un mécanisme d'assimilation et 3) par l'adéquation entre les comportements du pilote et sa préférence opérationnelle exprimée (une prise de risque importante peut s'avérer discordante avec une intention de survivabilité).

5. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

L'enjeu de l'évaluation de COMBI ne réside pas dans la capacité à mesurer sa performance mais bien à saisir sur le plan cognitif les changements induits par l'intégration de cette brique dans la réalisation d'une mission opérationnelle. A ce stade de l'étude, les paramètres sous-tendant l'évaluation des processus mis en œuvre par les pilotes de chasse n'ont pas été définitivement établis.

Les moyens mis en œuvre par le CEAM et Thales permettent d'immerger les pilotes participants dans la réalisation d'une mission de reconnaissance. L'étude est actuellement en cours mais l'analyse des données reposera sur la variabilité de la nature, de la qualité et de la quantité des *what if* formulés par le pilote lorsqu'il utilise COMBI et lorsqu'il ne l'utilise pas.

6. CONCLUSION

Même si le dispositif expérimental met en jeu une activité riche et dynamique difficile à catégoriser, la capacité des chercheurs à concevoir une méthode d'évaluation des interactions humain-IA basée sur l'analyse des mécanismes d'assimilation et d'accommodation laisse entrevoir des perspectives encourageantes dans la conduite d'études visant à définir la collaboration humain-IA.

7. BIBLIOGRAPHIE

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. Human Factors, 37, 32-64.

Hoc, J.-M. & Amaberti, R. (2004). Adaptation et gestion des risques en situation dynamique. In J.M. Hoc & F. Darses (Eds.). Psychologie ergonomique : tendances actuelles (pp. 15-48). Paris : PUF. 2

Leontiev, A. N. (1984). Activité, conscience, personnalité (G. Dupond, trad.). Moscou, Russie : Editions du Progrès.

Piaget, J. (1936). La naissance de l'intelligence chez l'enfant. [The birth of intelligence in the child]. Neuchâtel, Delachaux & Niestle.

Rabardel, P. (1995). Les Hommes et les Technologies : approche cognitive des instruments contemporains. Paris, France : Armand Colin.

ÉPIQUE 2023 : Symposium 102

Pour une meilleure prise en compte de la fatigue mentale et de ses effets comportementaux : concept théorique et implications pratiques.

Organisateur(s)

Philippe, Cabon, Maître de Conférence (PhD, HDR) en Ergonomie
Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquée - UMR T7708
Institut de Psychologie, Centre Henri Pierron, 71, Avenue Edouard Vaillant, 92100 Boulogne Billancourt
philippe.cabon@u-paris.fr
&

Arnaud, Rabat, Chercheur sénior (PhD, HDR) en Neurosciences
Unité d'Ergonomie Cognitive en Situation Opérationnelle, Institut de Recherche Biomédicale des Armées, 1 Place du Général Valérie André, BP 73, 91223 Brétigny sur Orge cedex
arnaud.rabat@def.gouv.fr

OBJECTIFS

Si la question de la fatigue mentale n'est pas nouvelle dans le domaine de l'ergonomie et de la psychologie, nous pouvons constater depuis quelques années un regain d'intérêt pour cette notion. Ceci peut être attribué aux effets d'un monde professionnel en pleine mutation qui expose les salariés à des pressions temporelles et/ou psychologiques de plus en plus fortes. Ce contexte amène les entreprises à s'interroger sur les facteurs qui pourraient générer et alimenter la fatigue des salariés et les moyens de sa prévention. Certaines industries, comme le transport aérien, ont d'ailleurs fait évoluer leurs réglementations en rendant obligatoire la gestion des risques associés à la fatigue et notamment ceux liés à la fatigue mentale. Cette dernière notion est aussi évoquée régulièrement dans un contexte d'introduction des nouvelles technologies de l'information qui produisent une augmentation de la charge mentale des salariés et plus spécifiquement dans l'introduction de ces nouveaux moyens d'automatisation et de numérisation au sein des systèmes d'armes (exemples : systèmes sociotechniques présents au sein des bâtiments de surface et sous-marins de la Marine Nationale, pilotes de drones et pour le futur, le système SCAF).

Souvent associée à une baisse des performances cognitives et/ou à une expérience subjective de perception de l'effort, d'envie de se désengager de l'activité, la définition de la fatigue mentale et de ses mécanismes sous-jacents fait encore l'objet de débat scientifique. Au sein de la communauté des neurosciences, la fatigue mentale est encore trop souvent confondue et réduit à la somnolence, un état neurophysiologique spécifique qui se définit comme une tendance irrésistible à s'assoupir du fait d'une dette de sommeil, de troubles de la rythmicité circadienne et/ou de pathologies du sommeil. Au sein de la communauté de psychologie ergonomique le concept de fatigue mentale est souvent associé, parfois confondu, avec celui de charge mentale. Or la relation entre la charge mentale, supportée par des opérateurs, et la fatigue mentale n'est pas linéaire et une charge mentale élevée n'est pas toujours synonyme de fatigue mentale. La fatigue mentale reste donc un concept, bien connu du grand public, mais paradoxalement plus difficile à définir. Il est d'ailleurs intéressant de noter une absence de définition consensuelle dans la littérature scientifique.

Ce symposium sera donc l'occasion de discuter de cette notion au travers de plusieurs interventions relevant de la psychologie, de l'ergonomie et des neurosciences. Les travaux présentés permettront d'illustrer différents contextes d'études ou d'interventions, que ce soit dans des situations de laboratoire, de simulation ou de situations réelles. Outre la présentation de résultats originaux, ce symposium sera l'occasion de discuter de la

question des mesures et des outils de mesure de la fatigue mentale. En effet, l'état de l'art fait apparaître une forte diversité des approches méthodologiques s'appuyant selon les cas sur des indicateurs physiologiques, des mesures de performance ou des évaluations subjectives. Chacune de ces méthodes présente des contextes d'utilisation spécifiques et des limites qui seront discutés lors de ce symposium. Une tentative de consensus scientifique de la fatigue mentale (voire une définition plus concise, cohérente et opérante) pourrait faciliter l'avancée des découvertes scientifiques et permettrait de délimiter et de renforcer le champ d'exercice des professionnels confrontés à la gestion de la fatigue mentale.

STRUCTURATION

Le symposium sera structuré autour de 3 parties essentielles :

- Aspects théoriques et mécanismes sous-jacents à la fatigue mentale et plus largement à la charge,
- La mesure et l'évaluation de la fatigue (charge) mentale,
- Les effets et la prévention de la fatigue mentale.

CONTRIBUTEURS AU SYMPOSIUM

Nos propositions :

Oratrice N°1 : Madame Roxanne Bureau (Doctorante de Madame Léger-Chorki)

Roxane Bureau, Laure Léger & Fabien Fenouillet

Doctorante / Maîtresse de conférence, HDR, LINP2 à Paris Nanterre

r.bureau@parisnanterre.fr / laure.leger-chorki@parisnanterre.fr

Titre : La fatigue mentale : un problème de définition.

Résumé : La fatigue mentale est une sensation qui est généralement ressentie comme négative à la suite d'un effort cognitif soutenu et qui peut impacter la vie quotidienne. Malgré sa présence fréquente dans la vie de tous les jours et ses impacts négatifs sur les performances, elle ne connaît pas encore de définition claire au sein de la littérature scientifique, ce qui complique la mise en place de solutions efficaces pour la limiter. Grâce à une revue de la littérature, le constat de cette difficulté à la définir est posé, un état des différents modèles existants de la fatigue mentale est présenté et une définition est proposée. L'exposition de ces modèles ouvre la voie vers quelques solutions pour limiter la fatigue mentale.

Oratrice N°2 : Madame Edith Galy

Edith Galy

Professeure des universités en Ergonomie, LAPCOS, Université Côte d'Azur

edith.galy@univ-cotedazur.fr

Titre : Charge mentale de travail et fatigue mentale : étude d'une relation non linéaire.

Résumé : Les deux concepts « charge mentale » et « fatigue mentale » sont souvent associés, la fatigue étant tout à la fois une cause et une conséquence de la charge mentale supportée par les opérateurs. Au travers du modèle Individu – Charge mentale – Activité (ICA, Galy, 2017 ; 2020) nous démontrons que la relation entre les deux concepts n'est pas linéaire. Une charge mentale élevée n'est pas toujours synonyme de fatigue mentale

élevée. La prise en considération des facteurs de charge mentale, plutôt que de la charge mentale générale, permet de montrer que certains facteurs sont protecteurs quand d'autres sont délétères.

Orateur N°3 : Monsieur Marcel Hinss (Doctorant du Dr Raphaëlle ROY à l'ISAE)

Marcel F. Hinss

Doctorant 2ème Année à l'ISAE-SUPAERO (Département DCAS, Directrice de Thèse : Raphaëlle N. Roy / ENAC, Equipe LII, Directrice de Thèse : Anke M. Brock), Université de Toulouse

marcel.hinss@isae-supaero.fr

Titre : Etude et caractérisation de la fatigue mentale et de la flexibilité cognitive dans le contexte des opérations drone longue endurance.

Résumé : L'opération de drones, que ce soit dans des contextes militaires ou civils devient plus commune avec des capacités opérationnelles qui dépassent fréquemment les 24h. En conséquence, la fatigue mentale des opérateurs peut entraîner des erreurs qui posent de sérieux problèmes de sécurité. La détection des états mentaux non-favorables grâce à des interfaces cerveaux-machines est une solution potentielle à ce problème. Ces systèmes permettent l'adaptation des interfaces de pilotage des drones aux altérations de la cognition. L'adaptabilité des interfaces de pilotage pourrait être optimisée pour augmenter la flexibilité cognitive, facilitant le changement de tâches de pilotage.

Orateur N°4 : Monsieur Cabon

Philippe Cabon

Maître de Conférence en Ergonomie, HDR, Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquée à l'Université Paris-Cité

philippe.cabon@u-paris.fr

Titre : Gestion des risques associés à la fatigue en milieu professionnel.

Résumé : La fatigue constitue un risque majeur dans les industries à risque. Les autorités internationales du transport aérien ont élaboré des réglementations visant la prévention de la fatigue. Elles requièrent une évaluation régulière du risque pour identifier les facteurs d'exposition. Outre les difficultés liées à la mesure de la fatigue, le lien fatigue - sécurité est loin d'être linéaire. Les stratégies (individuelles et collectives) développées par les opérateurs sont notamment susceptibles de limiter l'impact de la fatigue sur le risque et doivent donc être prises en compte pour évaluer le risque réel sur le plan de la sécurité.

La fatigue mentale : un problème de définition.

Roxane Bureau, Laure Léger & Fabien Fenouillet
LINP2, Université Paris Nanterre, r.bureau@parisnanterre.fr
LINP2, Université Paris Nanterre, lleger-chorki@parisnanterre.fr
LINP2, Université Paris Nanterre, ffenouil@parisnanterre.fr

RÉSUMÉ

La fatigue mentale est une sensation qui est généralement ressentie comme négative à la suite d'un effort cognitif soutenu et qui peut impacter la vie quotidienne. Malgré sa présence fréquente dans la vie de tous les jours et ses impacts négatifs sur les performances, elle ne connaît pas encore de définition claire au sein de la littérature scientifique, ce qui complique la mise en place de solutions efficaces pour la limiter. Grâce à une revue de la littérature, le constat de cette difficulté à la définir est posé, un état des différents modèles existants de la fatigue mentale est présenté et une définition est proposée. L'exposition de ces modèles ouvre la voie vers quelques solutions pour limiter la fatigue mentale.

MOTS-CLÉS

Fatigue mentale, Motivation, Effort, Contrôle, Epuisement du soi

1. INTRODUCTION

Bien que la sensation de fatigue soit connue de toutes et tous, aucune définition ne fait encore consensus au sein de la littérature scientifique (Phillips, 2015). Or, pour remédier à ce phénomène qui est associé à des impacts négatifs sur différents aspects de l'existence, comme le niveau de bien-être et de réussite universitaire (Smith et al., 2018), il faut tout d'abord être capable de la définir et d'identifier ces diverses origines possibles. L'objectif de cette communication est alors d'explorer les différents modèles existants, pour rendre compte de la problématique actuelle de donner une définition de ce qu'est la fatigue mentale. À partir d'une revue de la littérature, nous explorerons la dichotomie existante entre les différents modèles de la fatigue, qui est expliquée soit en tant que ressource qui vient à manquer, soit en tant qu'altération des processus motivationnels. Cela nous permettra d'établir une définition de la fatigue mentale, étape nécessaire pour ensuite chercher des pistes de restauration.

2. DIFFERENTES ORIGINES DE LA FATIGUE

2.1 Quelques difficultés autour de ce concept

La fatigue mentale est un sujet majeur d'intérêt et d'étude scientifique, et ce depuis déjà le début du 20ème siècle (e.g. Arai, 1912). C'est un phénomène très souvent exploré mais qui ne connaît pour autant pas de consensus scientifique clair autour de sa définition et de ses origines. Chaque discipline va avoir sa propre vision de ce qu'est la fatigue mentale (Hockey, 2013). Par exemple, pour les professions médicales, la fatigue sera une condition affaiblissante de nombreuses maladies, alors qu'elle sera considérée différemment ailleurs, comme dans les recherches sur la vigilance où la fatigue est vue principalement comme une baisse de ressources attentionnelles (Pattyn et al., 2018). En outre, concernant l'origine de la fatigue mentale, une dichotomie existe entre les modèles qui considèrent la fatigue comme une déplétion d'une certaine ressource limitée, et ceux qui considèrent la fatigue comme une altération motivationnelle en lien avec l'effort perçu. Des modèles neurocognitifs ont été proposés pour prendre en compte à la fois les aspects de ressources et de changement dans la volonté à fournir un effort.

2.2. La fatigue en tant que déplétion d'une ressource

Un modèle phare de cette conception est celui de Kahneman (1973) qui indique qu'une seule ressource indifférenciée est allouée entre les différentes tâches pour les réaliser. Une diminution des performances aurait lieu lorsque cette capacité globale est dépassée.

Plus récemment, un modèle influent en psychologie sociale se base aussi sur une idée de ressource : le modèle de ressource du contrôle de soi (*Resource Model of Self Control*, Baumeister et al., 1998), plus souvent connu sous le nom de modèle d'*ego depletion*. Pour eux, la capacité d'auto-contrôle, c'est-à-dire la capacité de modifier ou de surmonter ses pensées, émotions, actions et réactions, est une ressource limitée qui s'épuise quand elle est utilisée. Ainsi, lors de la réalisation d'un effort de contrôle de soi dans une tâche, une diminution des capacités d'auto-contrôle sera observée dans une tâche différente réalisée dans un second temps.

2.3. La fatigue en tant qu'altération motivationnelle

Les modèles qui évoquent la fatigue comme étant liée à une modification des processus motivationnels se fonde sur la prise de décision basée sur l'effort perçu. Ils avancent que la fatigue révèle un déséquilibre de la balance coût-bénéfice, décisive dans la prise de décision pour le choix de l'action à poursuivre.

Un modèle influant dans la littérature sur le sujet est celui de Hockey en 2013, sous le nom de théorie du contrôle motivationnel de la fatigue (*motivation control theory of fatigue*). La fatigue n'y est pas vue comme un état négatif, mais plutôt comme une émotion qui a un rôle adaptatif. Elle jouerait un rôle majeur dans le système responsable du maintien des priorités motivationnelles, c'est-à-dire le système qui gère la compétition entre les différents buts qui pourraient être poursuivis par l'individu. À chaque instant, l'individu pourrait suivre différents buts (e.g. prendre ce rendez-vous chez le médecin, finir son livre, préparer un résumé pour une communication scientifique). Il existe une compétition entre ces buts pour avoir accès à l'attention et au contrôle du comportement. Maintenir un objectif spécifique implique d'inhiber les autres, ce qui nécessite un effort de contrôle et ce qui génère une forte demande sur les mécanismes exécutifs qui maintiennent les objectifs. Ainsi, d'après Hockey, la première source de fatigue provient du besoin de mettre en place un contrôle sur le maintien de l'objectif en cours face aux autres buts qui sont en compétition à l'instant t pour choisir le comportement à réaliser. La fatigue va empêcher la fixation sur un objectif et va réorienter les comportements vers ceux qui auraient une plus grande utilité (récompense plus importante ou coût plus faible). L'effort ressenti est ici la contrainte du maintien d'un objectif d'une tâche sous un faible contrôle et une compétition grandissante avec d'autres buts.

En outre, après avoir fait le constat de la multiplicité des modèles à propos de la fatigue mentale, Pattyn et al., (2018) proposent un modèle transactionnel et multidisciplinaire de la fatigue et de la performance qui se base sur l'effort perçu. Ils indiquent que les 3 composantes clés de l'apparition de la fatigue sont la perception de l'effort, la propension à exercer un effort et la motivation potentielle.

2.4. Des modèles neuropsychologiques pour lier les deux conceptions

Cette dichotomie trouve une résolution au travers des récents travaux et modèles issus des neurosciences. Müller et Apps (2019) proposent un modèle neurocognitif qui intègre les ressources et l'altération motivationnelle. Ils évoquent le rôle du cortex cingulaire antérieur, de l'insula antérieur et du cortex dorsolatéral préfrontal qui sont connectées aux aires intéroceptives qui surveillent la fatigue neuronale dans les aires motrices ou cognitives exécutant la tâche en cours. En recevant ces informations concernant l'état intéroceptif, ces trois aires susnommées vont alors jouer un rôle dans l'altération de la motivation. Elles vont modifier les évaluations subjectives de l'effort à fournir pour obtenir des récompenses, c'est-à-dire qu'elles vont accroître le poids accordé aux coûts de l'effort dans les décisions portant sur les comportements prochains pour savoir s'ils en valent la peine ou non. Le résultat est une diminution de la volonté à fournir un effort au fil du temps. Ainsi, d'après eux, la fatigue augmente quand un effort est réalisé, et diminue avec les pauses. En même temps que le niveau de

fatigue augmente, le coût perçu de l'effort s'accroît, si bien que l'objectif auquel l'individu attribuait auparavant une valeur élevée passe maintenant à une valeur subjective plus faible. La motivation pour continuer l'action diminue, entraînant un déclin des performances.

De même, Kok (2022) propose une nouvelle perspective ancrée dans le cadre des neurosciences. Il vient remettre en cause la notion de ressource en tant qu'énergie qui viendrait à manquer pour alimenter les processus mentaux. Plutôt, il considère les ressources comme le reflet d'une modification du fonctionnement des réseaux du cerveau, particulièrement de ceux qui permettent de connecter les deux systèmes neuronaux qui gèrent le contrôle et la motivation. Cette modification fonctionnelle se caractériserait notamment par une perte de connectivité entre les différents composants du réseau. Cette modification fonctionnelle des réseaux serait alors interprétée par l'insula qui agirait comme un moniteur de l'effort et qui induirait ainsi une déperdition de la volonté à fournir un effort. Tout comme dans l'approche de Müller et Apps (2019), la fatigue mentale y est ainsi expliquée comme une combinaison de facteurs liés à des ressources et aux processus motivationnels, plutôt qu'une dichotomie stricte entre les deux.

3. DEFINITION

L'exploration de ces différents modèles permet maintenant de donner une définition de la fatigue mentale. Tout d'abord, la fatigue mentale se réfère ici à une condition physiologique et non pathologique, c'est un phénomène transitoire qui est indépendant d'un diagnostic médical (Kluger et al., 2013). La fatigue mentale se définit comme étant un état psychobiologique induit par un effort mental prolongé, expérimenté pendant et après une activité cognitivement éprouvante. Elle est associée à des manifestations subjectives comme une sensation de fatigue et de manque d'énergie, à des manifestations comportementales avec une baisse des performances à la tâche en cours et à la tâche qui suivra, et à des manifestations physiologiques (Smith et al., 2019). Une fatigue mentale peut être présente sans l'apparition obligatoire de ces trois types d'expressions ensemble (Hockey, 2013). Le degré de fatigue va dépendre du contexte de l'effort. Ce contexte est constitué de plusieurs facteurs : la durée et la charge mentale associée à la tâche en cours, la valeur et la signification de la performance pour l'individu, l'historique de son hygiène de vie… (Phillips, 2015). La fatigue mentale impacte la prise de décision dans la persistance d'un effort ou dans l'initiation d'un nouvel effort (Kok, 2022).

4. VERS DES PISTES DE RESTAURATION

La restauration à la suite d'une fatigue vise à compenser les effets délétères sur les performances qui lui sont associés. Au travers d'une revue narrative de la littérature, Jacquet et al., (2023) ont mis en exergue différentes stratégies pour lutter contre les effets négatifs de la fatigue, qui peuvent être mis en œuvre avant, pendant ou après une tâche fatigante. Ces stratégies peuvent être classées en deux catégories : bioactives et non-bioactives. Les stratégies bio-actives consistent en l'emploi de substances bio-actives, la plus connue de toute pour faire face à la fatigue est la caféine en amont de la tâche fatigante. D'autres substances semblent aussi efficaces, comme par exemple l'essence de poulet, la guarana ou encore le ginseng. Les stratégies non-bioactives semblent aussi intéressantes puisqu'elles permettent de limiter les effets secondaires de l'ingestion de substances bio-actives. Jacquet et al. (2023) rapportent ainsi que la présentation d'odeur ou écouter de la musique relaxante pendant la tâche permet de limiter la dégradation des performances cognitives. Une fois que l'individu est fatigué, Hockey (2013), identifient deux manières de faire face à une fatigue mentale : faire une pause ou changer d'activité. Il nous semble pertinent de considérer que les pauses ne sont rien d'autre qu'un changement d'activité. Toutefois, toute activité ne permet pas la restauration, il faut par exemple qu'elle ne requière pas de contrôle exécutif (Hockey, 2013). Jacquet et al., (2023) relatent que la pratique d'une activité physique, de type aérobie, pendant 30 minutes après la tâche permettrait de restaurer des effets de la fatigue mentale. De même, la pratique de la méditation

pourrait modérer la fatigue, mais seulement chez les individus experts et non chez les novices. Cependant, il arrive que le changement d'activité ne soit pas possible. Dans ces cas-là, augmenter la motivation extrinsèque peut aussi être une piste, comme en donnant une récompense financière ou en arrêtant la tâche de manière plus précoce en cas de bonnes performances (Jacquet et al., 2023 ; Proost et al., 2022). Il semble que le mécanisme qui opère lors de la restauration via ces différentes stratégies est associé au système dopaminergique, cela reste toutefois spéculatif à cause du manque de travaux pour évaluer les marqueurs neurophysiologiques de la fatigue mentale (Proost et al., 2022).

5. CONCLUSION

Au travers des différents modèles évoqués, il apparaît que la fatigue mentale est une altération des processus motivationnels qui émerge à la suite d'une activité mentale prolongée et qui signale que l'effort n'en vaut plus la peine. Donner une définition complète de la fatigue mentale qui fasse consensus reste complexe. L'établissement de mesures pour évaluer la fatigue en devient d'autant plus compliqué et la conception de solutions pour la limiter d'autant plus délicate. Différentes stratégies pour y faire face existent. Toutefois, il nous semble qu'aucune d'elles ne soit facilement applicable dans un cadre plus écologique qu'un laboratoire d'expérimentations, tels que les cours universitaires où la pause y est la technique la plus répandue pour limiter la fatigue des étudiants. L'exploration des manières de restaurer grâce aux pauses qui prennent en compte les aspects motivationnels et physiologiques de la fatigue mentale est encore à poursuivre par de plus amples recherches.

6. BIBLIOGRAPHIE

Arai, T. (1912). *Mental Fatigue*. Teachers College, Columbia University.

Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion : Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*, 1252-1265.

Hockey, R. (2013). *The psychology of fatigue : Work, effort and control*. Cambridge University Press.

Jacquet, T., Poulin-Charronnat, B., & Lepers, R. (2023). Comment lutter contre les effets négatifs de la fatigue mentale : Une revue narrative. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice-Hall.

Kluger, B. M., Krupp, L. B., & Enoka, R. M. (2013). Fatigue and fatigability in neurologic illnesses. *Neurology*, *80*(4), 409-416.

Kok, A. (2022). Cognitive control, motivation and fatigue : A cognitive neuroscience perspective. *Brain and Cognition*, *160*, 105880.

Müller, T., & Apps, M. A. J. (2019). Motivational fatigue : A neurocognitive framework for the impact of effortful exertion on subsequent motivation. *Neuropsychologia*, *123*, 141-151.

Pattyn, N., Van Cutsem, J., Dessy, E., & Mairesse, O. (2018). Bridging Exercise Science, Cognitive Psychology, and Medical Practice : Is "Cognitive Fatigue" a Remake of "The Emperor's New Clothes"? *Frontiers in Psychology*, *9*.

Phillips, R. O. (2015). A review of definitions of fatigue – And a step towards a whole definition. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *29*, 48-56.

Proost, M., Habay, J., De Wachter, J., De Pauw, K., Rattray, B., Meeusen, R., Roelands, B., & Van Cutsem, J. (2022). How to Tackle Mental Fatigue : A Systematic Review of Potential Countermeasures and Their Underlying Mechanisms. *Sports Medicine*, *52*.

Smith, A. (2018). Cognitive Fatigue and the Wellbeing and Academic Attainment of University Students. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*, *24*, 1-12.

Smith, M. R., Chai, R., Nguyen, H. T., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Comparing the Effects of Three Cognitive Tasks on Indicators of Mental Fatigue. *The Journal of Psychology*, *153*(8), 759-783.

Charge mentale de travail et fatigue mentale : étude d'une relation non-linéaire

Edith GALY
Université Côte d'Azur – LAPCOS edith.galy@univ-cotedazur.fr

Catégorie de soumission : communication de symposium

RÉSUMÉ

Les deux concepts « charge mentale » et « fatigue mentale » sont souvent associés, la fatigue étant tout à la fois une cause et une conséquence de la charge mentale supportée par les opérateurs. Au travers du modèle Individu – Charge mentale – Activité (ICA, Galy, 2017 ; 2020) nous démontrons que la relation entre les deux concepts n'est pas linéaire. Une charge mentale élevée n'est pas toujours synonyme de fatigue mentale élevée. La prise en considération des facteurs de charge mentale, plutôt que de la charge mentale générale, permet de montrer que certains facteurs sont protecteurs quand d'autres sont délétères.

MOTS-CLÉS

Charge mentale, fatigue mentale, modèle ICA, relations non-linéaires, GAM

1. INTRODUCTION

La charge mentale et la fatigue mentale sont deux concepts très fréquemment étudiés conjointement. Leur relation est bi-directionnelle, une fatigue mentale importante peut être à l'origine d'une charge mentale ressentie importante (Achermann, 2004), et inversement une charge mentale importante peut entrainer un accroissement de la fatigue mentale (Mehta & Agnew, 2012). Dans cette présentation, nous aborderons la problématique dans ce dernier sens relationnel.

2. CADRE THEORIQUE

La charge mentale de travail est abordée ici à travers le modèle ICA (Individu – Charge mentale – Activité ; Galy, 2017). Ce modèle considère trois composantes que sont l'individu, l'activité et la charge mentale, et trois catégories de charge mentale reposant sur la théorie de la charge cognitive de Sweller (1994). Les caractéristiques individuelles peuvent être affectives, cognitives, sociales et physiologiques. Ainsi, en fonction de l'état fonctionnel de l'individu, les ressources dont il dispose pour effectuer une tâche seront plus ou moins élevées. L'activité de travail est définie par des paramètres des tâches qui déterminent la charge mentale intrinsèque mais aussi par le contexte d'exécution (caractéristiques de l'environnement physique de travail, ambiance sociale...) déterminant les demandes externes à la tâche et représentant ainsi des facteurs de charge externe (Galy & Gaudin, 2014). Ainsi, en fonction des caractéristiques de la tâche et du contexte de travail, les charges intrinsèques et externes seront plus ou moins élevées et puiseront dans les ressources disponibles des individus. Les ressources restantes pourront être allouées à la charge pertinente qui correspond à la mise en œuvre de stratégies de régulation. La charge pertinente détermine ensuite la performance subjective et la satisfaction professionnelle (Galy, 2020).

La fatigue est un concept flou, difficile à définir, qui peut renvoyer au fait d'avoir des difficultés à fournir un effort. On distingue la fatigue physique de la fatigue mentale. Cette dernière est associée, dans les modèles multidimensionnels de la fatigue, à des difficultés de concentration sur une tâche donnée (Smets, et al., 1995).

Afin d'étudier la relation entre ces deux concepts, deux études ont été menées visant à comprendre l'évolution de la fatigue au cours d'une journée de travail simulée en bureaux ouverts en fonction de la charge mentale ressentie et du niveau sonore. Une série de mesures a été effectuée au

cours de chaque étude. Pendant la journée simulée, il était demandé aux participants d'effectuer une revue de presse sur différentes thématiques en s'appuyant sur plusieurs journaux du même jour. Cette tâche se voulait complexe et proche des tâches cognitives qui peuvent être effectuées en situation réelle de travail.

S'agissant des déterminants de la charge pertinente, nous faisons l'hypothèse, en accord avec le modèle ICA, que les effets de la charge intrinsèque et de la charge externe seront modérés par les ressources disponibles. Ainsi, des niveaux élevés de charges intrinsèque et externe nécessitant une régulation de l'activité ne génèreront une charge pertinente que si les ressources disponibles sont suffisamment élevées. Concernant les déterminants de la fatigue mentale, nous faisons l'hypothèse que la fatigue mentale sera d'autant plus importante que les ressources disponibles seront faibles. En accord avec la loi de Yerkes et Dodson (1908), les charges intrinsèque, externe et pertinente devraient avoir un effet non linéaire sur la fatigue mentale.

3. METHODE

Le recueil de données a été effectué auprès de 84 personnes lors deux études (39 personnes pour l'étude 1 et 45 personnes pour l'étude 2), 55 femmes et 29 hommes âgés de 32,7 ans (± 12 ans) normo-entendants. Pour l'étude 1, 12 mesures distinctes ont été effectuées et 8 mesures pour l'étude 2. Le traitement des données a donc été réalisé sur 818 mesures.

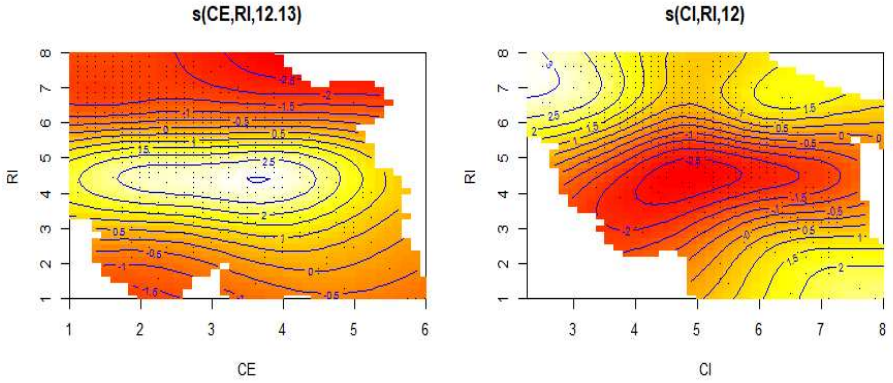
Les résultats reportés sont issus de deux questionnaires. Le premier questionnaire ICA (Galy, 2020) est composé de 31 items regroupés en cinq dimensions : les ressources disponibles, la charge intrinsèque, la charge externe et la charge pertinente. Pour l'ensemble des items, les participants se positionnaient sur une échelle en 8 points de réponse allant de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord ». Le deuxième questionnaire était le MFI (Multidimensional Fatigue Inventory ; Gentile, et al., 2003). A l'origine, ce questionnaire comporte quatre dimensions. Seule la dimension concernant la fatigue mentale a été prise en considération dans l'analyse des données. Cette dimension est composée de 6 items. Les participants devaient se positionner sur une échelle de réponse en 7 points pour exprimer leur degré d'accord avec l'affirmation.

4. RESULTATS

4.1. Relation entre les différentes dimensions de la charge mentale de travail

Les données ont été traitées en modèles additifs généralisés (GAM) sur R afin d'étudier les relations linéaires et non-linéaires existant entre les ressources disponibles et les différentes catégories de charge mentale. Le modèle le plus pertinent caractérisé par le R^2 le plus élevé (45,1% de la variance expliquée) est CP ~ s(CE, RI, k = 15) + s(CI, RI, k = 15) + s(RI, k = 5) + s(CI, k = 8). Ce modèle montre que la charge pertinente est déterminée par la quantité de ressources disponibles ($F(4,817)=18,58$; $p<0.001$), la charge intrinsèque ($F(7,817)=1,91$; $p=0.05$), l'interaction entre la charge externe et les ressources ($F(14,817)=3,45$; $p<0.001$) et l'interaction entre la charge intrinsèque et les ressources ($F(14,817)=2,64$; $p<0.001$). Les ressources ont un effet linéaire montrant que la charge pertinente est d'autant plus élevée que les ressources le sont également. La charge intrinsèque présente un effet non linéaire, ainsi elle est la plus élevée quand la charge intrinsèque est modérée et la plus faible quand la charge intrinsèque est très faible ou très élevée (courbe en U inversé). Les deux effets d'interaction significatifs sont représentés sur la figure 1 par des cartes de chaleur. La couleur jaune très clair indique des valeurs de charge pertinente élevées et la couleur rouge foncée des valeurs faibles. La charge pertinente la plus élevée est observée (graphe de gauche) lorsque la quantité de ressources et la charge externe sont modérées. Lorsque les ressources augmentent ou diminuent, la charge pertinente diminue, et dans une moindre mesure lorsque la charge externe augmente ou diminue également. Concernant l'interaction entre la charge intrinsèque et les ressources (graphe de droite), nous observons les valeurs les plus élevées de charge pertinente lorsqu'une charge intrinsèque

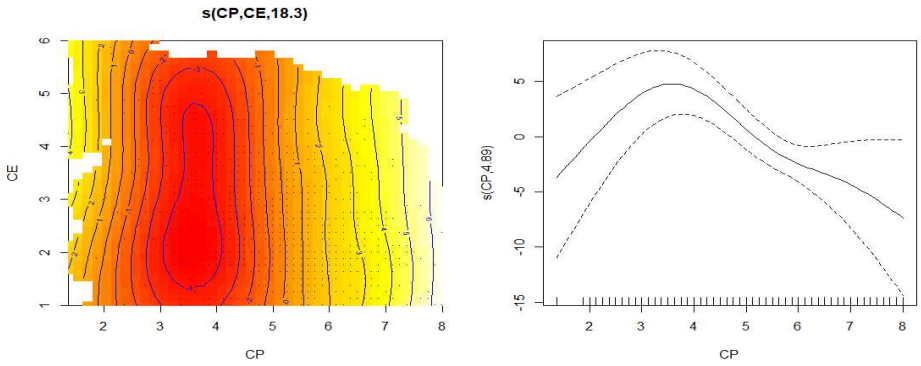
élevée est associée à des ressources faibles ou bien lorsque les ressources sont élevées, et ce quelle que soit la charge intrinsèque.



<u>Figure 1 :</u> Représentation schématique des effets d'interaction significatifs explicatifs de la charge pertinente

4.2. Relation entre les dimensions de l'échelle de charge mentale et la fatigue mentale

Le même type d'analyses a été utilisé pour étudier les relations entre les dimensions de l'échelle d'évaluation de la charge mentale et la fatigue mentale. Le modèle le plus pertinent caractérisé par le R^2 le plus élevé (72,1% de la variance expliquée) est Fatigue.mentale ~ RI + CI + s(CP, CE, k = 21) + s(CP, k = 6). Ce modèle montre que la fatigue mentale est déterminée par la quantité de ressources disponibles ($t(817)=-16,58$; $p<0.001$), la charge intrinsèque ($t(817)=5,99$; $p<0,001$), la charge pertinente ($F(5,817)=4$; $p<0.001$) et l'interaction entre la charge pertinente et la charge externe ($F(20,817)=4,05$; $p<0.001$). Les effets des ressources et de la charge intrinsèque sont linéaires indiquant que des ressources élevées et une charge intrinsèque faible sont associées à une fatigue mentale faible. Sur la figure 2, nous voyons que la charge pertinente a un effet non linéaire (graphe de droite), la fatigue mentale la plus élevée est observée pour des valeurs de charge pertinente modérée, elle diminue lorsque celle-ci augmente ou diminue (courbe en U inversé). L'effet d'interaction entre la charge pertinente et la charge externe (graphe de gauche) montre que la fatigue mentale la plus élevée est observée lorsque la charge pertinente est la plus élevée quelle que soit le niveau de charge externe et lorsqu'elle est très faible et associée à une charge externe élevée.



<u>Figure 2 :</u> Représentation schématique des relations entre les différentes dimensions du questionnaire de charge mentale et la fatigue mentale

5. DISCUSSION

L'ensemble de ces résultats démontrent 1) l'importance de prendre en considération les facteurs responsables de la charge mentale et 2) l'intérêt d'étudier les relations non-linéaires pour comprendre les effets de la charge mentale sur la fatigue mentale générée par une tâche.

Nos résultats révèlent que les personnes ressentant une charge externe modérée pourront mettre en œuvre des stratégies de régulation et être plus efficaces dans l'exécution de la tâche lorsqu'elles possèdent des ressources modérées (charge pertinente importante). Si les ressources sont faibles, il n'y aura pas assez de ressources restantes pour ces mécanismes de régulation. Dans le cadre de ressources élevées, nous pouvons penser que les participants avaient assez de ressources pour faire face aux contraintes externes et n'ont pas eu besoin de mettre en œuvre de tels mécanismes. Lorsque les contraintes externes sont très élevées ou très faibles, les mécanismes de compensation sont moindres bien qu'existants. Dans le premier cas parce que ces contraintes ne sont pas toutes compensables et dans le second car la situation ne nécessite pas de régulation.

Paradoxalement, la mise en œuvre de stratégies de régulation ne présente pas le même pattern en fonction du niveau de charge intrinsèque. Ainsi, les personnes ayant des ressources élevées vont mettre en place des mécanismes de régulation quand la charge intrinsèque est faible ou élevée, cela reflète les situations décrites par Karasek et Theorell (1990) correspondant à un travail passif (charge intrinsèque faible) ou un travail actif (CI élevée), la première situation pouvant être source d'ennui alors que la seconde reflète un travail stimulant. Des stratégies de régulation sont également mises en œuvre lorsque la charge intrinsèque est élevée et que les individus possèdent peu de ressources.

La comparaison de ces deux interactions des charges intrinsèque et externe et des ressources déterminant la charge pertinente semble révéler que les individus ayant peu de ressources disponibles vont préférentiellement les mobiliser pour réguler les contraintes inhérentes à la tâche plutôt que celles inhérentes au contexte.

Finalement les personnes déclarant une fatigue mentale la plus importante sont celles qui possèdent le moins de ressources, qui évaluent la tâche comme étant difficile ou complexe et qui allouent une quantité modérée de ressources à la mise en place de stratégies de régulation. Ainsi, lorsque les individus ont les marges de manœuvre nécessaire pour réguler leur activité et assez de ressources à allouer à cela, ils sont sujets à une fatigue mentale faible.

6. BIBLIOGRAPHIE

Achermann, P. (2004). The two-process model of sleep regulation revisited. *Aviation, Space, and Environmental Medecine, 75*(3), 37-43.

Galy, E. (2017). Consideration of several mental workload categories: perspectives for elaboration of new ergonomic recommendations concerning shiftwork. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. DOI: 10.1080/1463922X.2017.1381777

Galy, E. & Gaudin, C. (2014). Vigilance et tension : effet de l'organisation du travail et de la perception de la situation de travail. *Le Travail Humain, 77 (4)*, 301-323.

Galy, E. (2020). A multidimensional scale of mental workload evaluation based on Individual – Workload – Activity (IWA) model: validation and relationships with job satisfaction. *Tutorials in Quantitative Method for Psychology.*

Gentile, S., Delarozière, J.C., Favre, F., Sambuc, R., & San Marco, J.L. (2003). Validation of the French 'multidimensional fatigue inventory' (MFI 20). *European Journal of Cancer Care, 12*, 58–64.

Karasek, R., & Theorell, T. (1990). *Healthy work. Stress, productivity, and the reconstruction of working life*. New-York: Basic Book.

Mehta, R.K., & Agnew, M.J. (2012). Influence of mental workload on muscle endurance, fatigue, and recovery during intermittent static work. *European Journal of Applied Physiology, 112,* 2891-2902.

Smets, E.M.A., Garssen, B., Bonke, B., & Dehaen, J.C.J. (1995). The multidimensional fatigue inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *Journal of Psychosomatic Research, 39*(5), 315-325.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction, 4*, 295-312.

Yerkes, R.M., & Dodson, J.D. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation. *Journal of Comparative Neurology & Psychology, 18,* 459–482

Etude et caractérisation de la fatigue mentale et de la flexibilité cognitive dans le contexte des opérations drone longue endurance.

Marcel F. Hinss

ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, France | ENAC, Université de Toulouse, France
macel.hinss@isae-supaero.fr

Anke M. Brock & Raphaëlle N. Roy

ENAC, Université de Toulouse, France| ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, France

anke.brock@enac.fr |raphaelle.roy@isae-supaero.fr

Catégorie de soumission : communication de symposium

RÉSUMÉ

L'opération de drones, que ce soit dans des contextes militaires ou civils, devient plus commune. Les phases d'opérations dépassent fréquemment les 24h. En conséquence, la fatigue mentale des opérateurs peut entraîner des erreurs posant des problèmes de sécurité. En effet, elle a notamment un fort impact sur la flexibilité cognitive, qui est essentielle pour le changement entre tâches, un aspect principal de l'opération de drones. La détection en ligne d'états mentaux dégradés grâce à des méthodes d'informatique physiologique est une solution potentielle à ce problème. Ces systèmes permettraient l'adaptation des interfaces de pilotage de drones afin de prendre en compte ces états par le biais de mesures complémentaires de performance et d'état physiologique. L'adaptativité des interfaces de pilotage pourrait ainsi être optimisée pour augmenter la flexibilité cognitive, facilitant le changement de tâches de pilotage et permettre une amélioration de la sécurité et de la performance des opérations.

MOTS-CLÉS

Fatigue mentale, flexibilité cognitive, drone, interface humain-machine, informatique physiologique

1. INTRODUCTION

Le développement de drones, systèmes aériens sans pilote (UAS, unmanned aerial system), a permis d'élargir considérablement les capacités de déploiement, les drones modernes peuvent également effectuer une multitude de missions différentes. Les UAS modernes tels que le MQ-9 Reaper sont devenus si complexes que l'armée de l'air française emploie des équipes de 4 personnes pour l'exploitation d'un seul de ces systèmes. Le cockpit est divisé en deux parties : la première accueille le télépilote et l'opérateur capteurs, et la seconde l'interprète images et le coordinateur tactique. Ces deux cockpits sont placés dans des conteneurs différents ; les opérateurs communiquent donc par radio et par chat pendant leurs missions de 2 à 6 heures.

Bien que plusieurs problèmes de facteurs humains tels que les influences de l'opérateur et de l'organisation existent dans les opérations d'UAS, l'ensemble des problèmes liés à la fatigue pose peut-

être le plus grand risque de sécurité pour les opérations d'UAS (Scheiman et al., 2017) . En général, ces problèmes se répartissent en deux catégories. Les problèmes liés au travail posté et à la privation de sommeil résultent du fait que les UAS modernes sont capables d'effectuer des missions de plus de 24 heures. Le travail en équipe par roulement est nécessaire pour contrôler le drone en permanence, ce qui entraîne une mauvaise gestion du sommeil, des insomnies et une augmentation des troubles du sommeil (Scheiman et al., 2017). En outre, les opérateurs peuvent ressentir de la fatigue mentale lorsqu'ils sont chargés de surveiller et de contrôler en permanence le drone via la station de contrôle au sol. La fatigue mentale est définie comme un état mental psychobiologique, causé par une activité cognitive prolongée entraînant une probabilité accrue de diminution de la performance (Hinss et al., 2022; Matthews, 2012). Bien que les interactions entre le sommeil et la fatigue mentale ne soient pas à négliger, le reste de cet article se concentrera sur les caractéristiques de la fatigue mentale, spécifiques aux opérations modernes d'UAS. La fatigue mentale dans les UAS est particulière car les méthodes établies d'atténuation de la fatigue, tel que le repos de l'équipage, ne sont pas applicables. En effet, les opérateurs doivent constamment surveiller tous les systèmes et étudier les données visuelles entrantes (Scheiman et al., 2017). Afin de mieux comprendre le rôle de la fatigue mentale et ses conséquences, i) nous avons mené 6 entretiens avec des pilotes et des opérateurs de capteurs actuels et anciens de l'armée de l'air française du système MQ-9 Reaper. De plus, ii) nous avons amorcé des travaux en laboratoire afin de caractériser l'impact du temps passé et du type de tâche sur la flexibilité cognitive. Enfin, iii) nous avons travaillé sur le développement d'une chaîne d'estimation de la performance de l'opérateur et d'une interface adaptative. Ces différentes contributions sont présentées succinctement dans les parties suivantes.

2. ENTRETIENS

Afin de déterminer comment le fonctionnement cognitif est affecté par le temps passé sur la tâche et la fatigue mentale, 6 pilotes et opérateurs capteurs d'UAS longue endurance ont été interrogés lors d'entretiens semi-dirigés. Les conclusions principales de ce travail sont les suivantes : ils sont souvent fatigués par le travail posté et le travail de nuit, ainsi que par la fatigue cognitive due aux changements soudains de charge de travail. De plus, les opérateurs ont parfois tendance à fixer des éléments sur l'écran sans y prêter attention (vagabondage mental). En outre, la fatigue nerveuse après les phases d'action génère un relâchement, qui ne se traduit pas par une envie de dormir, mais par une diminution des capacités. Les pilotes ont tendance à être moins attentifs, plus lents, ou à oublier certains détails. Avec le temps passé sur la tâche, les capacités diminuent progressivement par rapport à leur état initial, notamment à cause de l'ennui si les tâches sont monotones. De plus, le retask (changement rapide et dynamique des objectifs de la mission) et le changement de pilotes au cours d'une mission suggèrent que la flexibilité cognitive peut être un facteur majeur dans les opérations. Ainsi, la diminution de la flexibilité cognitive peut contribuer à ce que les retasks et le changement de pilote soient des facteurs de risque majeurs.

3. RECHERCHES FONDAMENTALES

Ces entretiens ont souligné l'importance pour les opérateurs d'UAS de maintenir une flexibilité cognitive tout au long d'une mission, ce qui est aussi confirmé par la littérature en facteurs humains (Scheiman et al., 2017). En outre, il existe un lien bien établi entre l'augmentation de la fatigue mentale et la diminution de la flexibilité cognitive (Yu et al., 2021). La flexibilité cognitive - "la capacité d'évaluation objective et d'action flexible appropriée" - implique également "l'adaptabilité et l'esprit d'équité. " -(VandenBos, 2007). Les études cognitives fondamentales utilisent principalement des protocoles de changement de tâche, dans lesquels les participants doivent passer de manière dynamique de l'exécution de deux ou plusieurs sous-tâches similaires. Les résultats montrent de manière fiable ce que l'on appelle les coûts de changement de tâche, c'est-à-dire l'augmentation du

temps de réaction et du taux d'erreur après le passage d'une tâche à une autre (Cooper et al., 2015). Le plus souvent, ces sous-tâches sont très similaires, ce qui ne reflète pas la complexité et la dissemblance des tâches dans des environnements écologiques tels que les opérations d'UAS. Pour étudier cela, nous avons créé un protocole de double changement de tâche comprenant4 sous-tâches qui diffèrent en similarité (Hinss et al., 2023). La fatigue mentale, estimée par le temps passé sur la tâche, est également examinée. Nous nous attendons à ce que le passage d'une tâche à l'autre soit plus difficile si les tâches sont dissemblables et que cela devienne de plus en plus difficile à mesure que la fatigue mentale augmente. Si cela est confirmé, nous testerons ensuite des contre-mesures qui permettraient de réduire le coût de changement de tâche dans le contexte de tâches dissemblables et de fatigue mentale.

4. INFORMATIQUE PHYSIOLOGIQUE

Afin d'accroître la sécurité des opérations modernes d'UAS, il convient d'explorer les systèmes permettant d'atténuer les effets de la fatigue mentale, comme la diminution de la flexibilité cognitive. Une condition nécessaire pour un tel système d'atténuation est la capacité de détecter la fatigue mentale en temps réel. Cette détection est permise par les interfaces cerveau-ordinateur basées sur l'électroencéphalographie (EEG) et les systèmes d'informatique physiologique intégrant l'électrocardiographie (ECG) et le suivi des mouvements oculaires. La méthode la plus populaire pour étiqueter les données est le temps passé sur la tâche (TOT). En pratique, les données sont souvent étiquetées en utilisant les premiers et derniers blocs d'une procédure expérimentale pour une classification binaire entre les états de non-fatigue et de fatigue (Trejo et al., 2015). Si ces approches donnent souvent des taux de classification élevés, leur utilité dans les applications pratiques est discutable, car il n'y a pas nécessairement de lien direct entre la classification et le comportement de l'utilisateur. Une approche plus applicable pourrait être de s'orienter vers la prédiction de la performance. De plus, l'utilisation de l'ensemble du spectre du signal EEG peut gonfler les précisions de classification, en raison, par exemple, de la différence d'activité motrice entre les conditions qui génère différentes quantités d'artefacts. Nous avons testé la performance d'un algorithme de classification utilisant des étiquettes basées sur la performance et des étiquettes basées sur le TOT sur les données de 13 participants effectuant une tâche de recherche visuelle de 60 minutes. Les précisions de classification obtenues en utilisant l'étiquetage TOT étaient significativement plus élevées que l'étiquetage de performance ($F(2,48)=89.87$ $p<0.001$, Figure 1). Bien que la différence entre les deux spectres utilisés dans cette approche ne soit pas significative, l'utilisation de l'ensemble du spectre de fréquences a tout de même entraîné une augmentation de près de 6 % de la précision. Comme le montrent ces résultats, l'estimation de la performance, bien que plus applicable, est nettement plus difficile à réaliser que l'estimation du TOT.

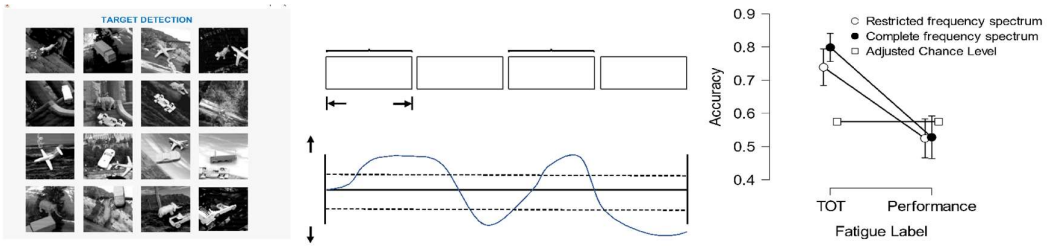


Figure 1 (de gauche à droite) : Capture d'écran de la tâche de recherche visuelle dans laquelle les participants devaient détecter des humains pour lancer un sauvetage. | Comparaison des deux approches d'étiquetage | Résultats de l'analyse, montrant la limite supérieure de l'intervalle de confiance pour le niveau de chance (57,5%) selon (Mueller-Putz et al., 2008)

5. DEVELOPPEMENT D'UNE INTERFACE

Un autre développement du projet concerne une station de contrôle au sol actualisée qui incorpore une interface adaptative informée par un système de calcul physiologique de l'état de fatigue actuel d'un opérateur afin de permettre l'atténuation des effets de changement de tâche causés par la fatigue mentale. Les interfaces adaptatives sont des interfaces utilisateur dont l'apparence et la fonctionnalité changent en fonction de la situation, du comportement ou des besoins de l'utilisateur (Browne, 1990)**.** Nous avons intégré plusieurs adaptations dans la station de contrôle au sol Paparazzi (PprzGCS) existante, un projet de matériel et de logiciel de drone open-source englobant des systèmes de pilotage automatique et un logiciel de station au sol (Hattenberger et al., 2014). Un système inspiré du système RedAlert (Saint-Lot et al., 2020) a été intégré au PprzGCS : l'écran peut être recouvert d'une couche semi-transparente colorée, informant l'opérateur qu'il devra bientôt changer de tâche sans pour autant l'empêcher de réaliser la tâche (Figure 2).

6. DISCUSSION

Les UAS gagnent en popularité, il est primordial de prendre en compte les risques associés aux facteurs humains, en particulier la fatigue mentale, dans le cadre de leur opération. Les travaux présentés dans le cadre de ce projet combinent la neuroergonomie, l'interaction humain-machine et les sciences cognitives dans le but de proposer un système permettant d'assurer la sécurité des futurs UAS'. Ce contexte nous permet également d'explorer plusieurs aspects d'un point de vue très écologique. L'examen de l'interaction entre la similarité et la flexibilité cognitive permettra de mieux comprendre la prise de décision humaine. L'utilisation de l'informatique physiologique basée sur les performances constituera également une étape vers des applications quotidiennes réalisables. Les interfaces adaptatives telles que celles présentées par le PprzGCS et RedAlert (Saint-Lot et al., 2020) montrent comment de simples modifications de l'interface peuvent améliorer la qualité de l'interaction entre l'humain et la machine (Figure 2). De plus, les missions UAS longue endurance constituent un cas d'utilisation particulier pour la prise en compte de la fatigue mentale, mais les aspects de la flexibilité cognitive, de l'informatique physiologique basée sur les performances et des interfaces adaptatives ont également un large éventail d'applications.

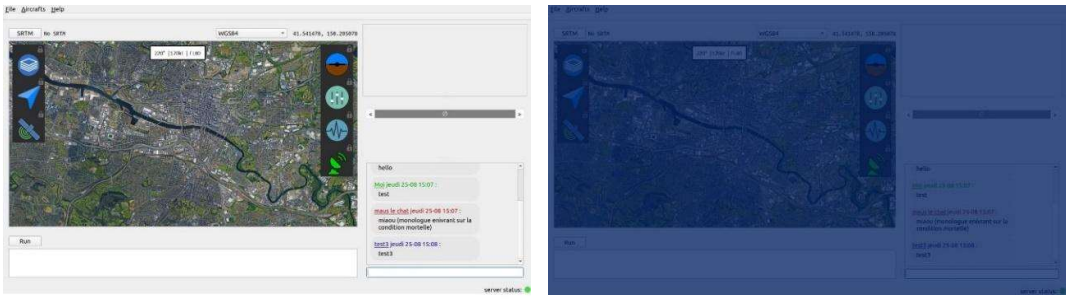


Figure 2 (de gauche à droite) : SCG Paparazzi avec interface de navigation (en haut à gauche) et chat (en bas à droite) Droite : Même interface avec un stimulus de type RedAlert (Saint-Lot et al., 2020)

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Browne, D. (1990). *Adaptive User Interfaces*. Elsevier.

Cooper, P. S., Garrett, P. M., Rennie, J. L., & Karayanidis, F. (2015). Task Uncertainty Can Account for Mixing and Switch Costs in Task-Switching. *PLOS ONE*, *10*(6), e0131556. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131556

Hattenberger, G., Bronz, M., & Gorraz, M. (2014). *Using the Paparazzi UAV System for Scientific*

Research. https://doi.org/10.4233/UUID:B38FBDB7-E6BD-440D-93BE-F7DD1457BE60

Hinss, M. F., Brock, A. M., & Roy, R. N. (2022). Cognitive effects of prolonged continuous human-machine interaction: The case for mental state-based adaptive interfaces. *Frontiers in Neuroergonomics*, *3*. https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.935092

Hinss, M. F., Brock, A. M., & Roy, R. N. (2023). The Double Task-Switching Protocol: An investigation into the effects of similarity and conflict on cognitive flexibility in the context of mental fatigue. *PLOS ONE*. 10.1371/journal.pone.0279021

Matthews, G. (Ed.). (2012). *The handbook of operator fatigue*. Ashgate Pub. Company.

Saint-Lot, J., Imbert, J.-P. I., & Dehais, F. (2020). *Red Alert: A cognitive countermeasure to mitigate attentional tunneling*. *2020*. https://doi.org/10.1145/3313831.3376709

Scheiman, T., Chappelle, W., & Sanford, E. (2017). *U.S. Air Force Special Operations Command Remotely Piloted Aircraft Operator Fatigue Levels and Compensatory Strategies*. 49.

Trejo, L. J., Kubitz, K., Rosipal, R., Kochavi, R. L., & Montgomery, L. D. (2015). EEG-Based Estimation and Classification of Mental Fatigue. *Psychology*, *06*(05), https://doi.org/10.4236/psych.2015.65055

VandenBos, G. R. (2007). *APA Dictionary of Psychology*. American Psychological Association.

Yu, S., Mückschel, M., & Beste, C. (2021). Event-related synchronization/desynchronization and functional neuroanatomical regions associated with fatigue effects on cognitive flexibility. *Journal of Neurophysiology*, *126*(2), 383–397. https://doi.org/10.1152/jn.00228.2021

Gestion des risques associés à la fatigue en milieu professionnel.

Cabon, Philippe

Université Paris Cité and Univ Gustave Eiffel, LaPEA, F-92100 Boulogne-Billancourt, France

philippe.cabon@u-paris.fr

RÉSUMÉ

La fatigue constitue un risque majeur dans les industries à risque. Les autorités internationales du transport aérien ont élaboré des réglementations visant la prévention de la fatigue. Elles requièrent une évaluation régulière du risque pour identifier les facteurs d'exposition. Outre les difficultés liées à la mesure de la fatigue, le lien fatigue - sécurité est loin d'être linéaire. La nature de l'activité, les stratégies (individuelles et collectives) développées par les opérateurs sont notamment susceptibles de limiter l'impact de la fatigue sur le risque et doivent donc être prises en compte pour évaluer le risque réel sur le plan de la sécurité.

MOTS-CLÉS

Fatigue, industries à risques, stratégies, horaires décalés.

1. INTRODUCTION

La fatigue des opérateurs constitue un risque majeur pour la sécurité dans les industries à risque ayant recours à des horaires atypiques. Elle a été reconnue comme l'un des facteurs contributifs à de nombreuses catastrophes (Mitler et coll., 1988) telles que Bohpal, Tchernobyl ou l'Exxon Valdez. Le bureau de sécurité des Transports aux Etats-Unis (NTSB) classe la fatigue comme l'un de 6 risques majeurs pour la sécurité aérienne (NTSB « most wanted list »). Les transports aériens sont particulièrement exposés en raison des contraintes spécifiques imposées aux personnels (décalage horaire, horaires de travail irréguliers, automatisation des cockpits ,…). Cette industrie a contribué assez tôt à de nombreuses études scientifiques (Avers et Johnson, 2011) et à la mise en œuvre des politiques de gestion des risques liés à la fatigue à tous les niveaux de l'organisation.

Malgré l'importance de cette notion dans le domaine de l'Ergonomie et des enjeux pour la sécurité industrielle, sa définition est loin de faire consensus. D'une simple expérience subjective pour certains auteurs, elle reflète pour d'autres un état physiologique pouvant être quantifié par des mesures objectives. Dans d'autres cas, elle traduit un état cognitif se manifestant par une baisse des performances. La définition de la fatigue dépend donc du cadre théorique auquel on se réfère (Cabon, 2021). On peut néanmoins identifier des dimensions communes à ces définitions, en particulier le fait que la fatigue résulte d'un effort et qu'elle traduit un besoin de récupération.

2. DE L'APPROCHE PRESCRIPTIVE A UNE APPROCHE CENTREE SUR LE RISQUE

Conscientes du risque pour la sécurité des vols, les autorités aériennes internationales (OACI, EASA) ont introduit des modifications significatives sur le plan réglementaire. En 2011, l'OACI a publié des premières recommandations pour la mise en œuvre des réglementations visant à gérer les risques associés à la fatigue des équipages. Ces recommandations comportent deux axes essentiels. Le premier repose sur une approche dite prescriptive basée sur des limitations de temps de service et de durée de repos. L'inconvénient majeur de cette approche est qu'elle ne peut prendre en compte la

complexité des mécanismes physiologiques et cognitifs de la fatigue (Cabon et al, 2002). C'est pourquoi l'OACI recommande une approche complémentaire basée sur une approche non prescriptive et basée sur une évaluation et une gestion du risque qui prend en compte la nature réelle de l'exposition au risque en fonction du type d'opérations (court ou long-courrier par exemple). Cette approche est désignée sous le nom de Système de Gestion du Risque Fatigue (SGRF), en anglais Fatigue Risk Management System (FRMS). L'OACI définit cette approche comme un « Moyen » dirigé par des données qui permet de surveiller et de gérer en continu les risques de sécurité liés à la fatigue, basé sur des principes et des connaissances scientifiques ainsi que sur l'expérience opérationnelle, et qui vise à faire en sorte que le personnel concerné s'acquitte de ses fonctions avec un niveau de vigilance satisfaisant ».

Ce système implique un processus continu de suivi et de gestion du risque fatigue » (ICAO, 2011). Dans la pratique, ces SGRF peuvent constituer, soit un complément aux limitations réglementaires des temps de service pour encadrer des dérogations spécifiques, soit se substituer totalement à la réglementation. Dans le domaine de l'aviation civile, les compagnies aériennes françaises peuvent par exemple accorder des durées de repos inférieures aux limites réglementaires à condition de mettre en œuvre un SGSRF (Cabon et al, 2012). En d'autres termes, il est demandé à ces compagnies de prouver que ces temps de repos réduits permettent de conserver un niveau de sécurité équivalent à celui associé à des repos de durée standard. Pour atteindre cet objectif, les compagnies doivent encadrer ces rotations spécifiques de dispositions particulières (par exemple proximité de l'hôtel pour réduire les temps de trajet aéroport-hôtel) et démontrer qu'elles gèrent le risque fatigue à tous les niveaux de l'organisation.

Le principe de ce SGS-RF a déjà été appliqué à l'étranger, notamment par Air New Zealand (Signal et coll., 2008), par Singapore Airlines pour l'introduction des vols Ultra Long Courriers qui dépassaient les limites réglementaires en vigueur (Spencer et Robertson, 2004) et par easyJet pour la mise en place de nouvelles rotations court-courriers (Steward, 2006).

Lorsque ces SGS-RF sont mis en œuvre sur des bases scientifiques, les résultats obtenus montrent qu'ils permettent une réduction du niveau de fatigue des équipages et un meilleur niveau de sécurité (Steward, 2006). Au travers d'enquêtes réalisées annuellement auprès des équipages, la compagnie Air New Zealand a par exemple montré que le pourcentage d'équipages reportant un niveau de fatigue significatif au moins une fois par semaine a diminué de 70 à 40 % depuis la mise en œuvre du SGS-RF (Gander et coll., 2011).

3. L'EVALUATION DU RISQUE FATIGUE EN MILIEU OPERATIONNEL

L'implémentation de ces systèmes de gestion de la fatigue dans l'industrie pose de nombreuses difficultés théoriques et pratiques. La première de ces difficultés concerne l'évaluation de la fatigue en milieu professionnel. Compte tenu des contraintes liées aux opérations et à l'acceptabilité des opérateurs, le choix des méthodes et outils disponibles s'avère assez limité. En effet, le recours à des méthodes objectives telles que des mesures physiologiques (EEG, EOG) que l'on retrouve fréquemment dans des études de laboratoire ou en simulateur sont dans la plupart des cas très difficiles à mettre en œuvre et ne peuvent être utilisées que dans des cadres très limités. C'est pourquoi, le plus souvent la fatigue est évaluée à partir de méthodes subjectives qui sont recueillies en fin de service ou à différentes phases de l'activité considérées comme « critiques ». Deux échelles sont les plus couramment citées et utilisées par l'industrie, la Sam Perelli (Samn et Perelli, 1982) et la Karolinska Sleepiness Scale (KSS) (Akerstedt et Guilberg, 1990). La KSS a fait l'objet d'études de validation en laboratoire en les utilisant en parallèle de données physiologiques et de performances cognitives. Les auteurs considèrent que lorsque l'opérateur évalue sa fatigue à un niveau supérieur à 7 (sur une échelle de 1 à 9), cela traduit un risque significatif de dégradation du niveau d'éveil et des performances. Leur intérêt majeur réside dans leur caractère non invasif et qu'elles peuvent être recueillies sur des échantillons très importants permettant d'évaluer statistiquement la contribution de nombreux facteurs opérationnels.

D'autres méthodes complémentaires ou alternatives ont été proposées pour évaluer les performances en milieu opérationnel. Parmi ces mesures, le Psychomotor Vigilance Task (PVT) (Dinges, Orne & Orne, 1985) est probablement le plus utilisé car sa mise en œuvre est simple et ne nécessite pas de phase d'apprentissage. Ce test est particulièrement sensible à l'impact de la privation de sommeil (Belenky et al., 2003) Au départ utilisé essentiellement en laboratoire sous la forme de sessions de 10 minutes, une version plus courte utilisant des sessions de 2 minutes a été validée pour être transposée dans des études sur le terrain (Loh, Lamond, Dorrian, Roach & Dawson, 2004).

Outre le fait que ces mesures sont parfois discutées en raison des risques de biais liés à l'auto-évaluation elles soulèvent également le lien à la sécurité. En effet, plusieurs auteurs ont suggéré que le lien entre fatigue et sécurité dans des situations d'activité réelles n'était pas linéaire (Folkard et Akerstedt, 2004). En d'autres termes, dans certaines circonstances, des niveaux modérés de fatigue seraient susceptibles de produire un risque plus élevé que des niveaux très élevés de fatigue. Parmi les facteurs expliquant cette relation non linéaire, la conscience de sa propre fatigue, les stratégies individuelles et collectives mises en œuvre par les opérateurs sont les plus souvent cités. Une étude réalisée en simulateur par la NASA (Foushee et coll., 1986) a montré que des pilotes fatigués revenant de plusieurs jours de vols en commun commettaient moins d'erreurs que des pilotes reposés (mais qui n'avaient pas volé ensemble récemment). Les auteurs suggèrent que ces résultats surprenants sont essentiellement liés à la capacité des pilotes à mettre en œuvre des stratégies collective réduisant l'impact de la fatigue sur leurs performances.

Ces travaux montrent l'intérêt de développer des approches plus écologiques et centrées sur la prise en compte de la nature de l'activité des opérateurs et des stratégies de régulation qu'ils utilisent.

4. CONCLUSION

La fatigue est un risque majeur pour la sécurité, en particulier dans les industries ayant recours à des horaires décalés et nécessitant une supervision de processus automatiques sollicitant fortement la vigilance des opérateurs. La prise en compte de ce risque sous l'impulsion de réglementations internationales, en particulier dans le transport aérien, a permis d'envisager des perspectives prometteuses pour la prévention de ce risque. Néanmoins de nombreuses questions restent ouvertes sur l'évaluation du risque réel pour la sécurité et sur les moyens de les réduire. Ces moyens nécessitent d'agir à différents niveaux du système, que ce soit dans le domaine de la conception que de l'organisation du travail.

Sur le plan de l'organisation du travail, plusieurs approches ont été mises en œuvre consistant notamment à prendre en compte et à évaluer le risque de fatigue lors de la phase de construction des plannings à partir de critères scientifiques et de retours d'expérience. Néanmoins, ces approches peuvent s'avérer limitées par le fait qu'elles n'intègrent que rarement la nature de l'activité des opérateurs et l'environnement opérationnel dans lequel ils travaillent. Un autre de progrès porte sur une meilleure conciliation entre des plannings réduisant la fatigue et une bonne acceptabilité par les salariés sur le plan de l'équilibre vie personnelle- vie professionnelle.

5. BIBLIOGRAPHIE

Åkerstedt, T., & Gillberg M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. The International Journal of Neurosciences, 52(1-2), 29-37.

Avers, K., Johnson, W. A (2011). Review of Federal Aviation Administration Fatigue Research Transitioning Scientific Results to the Aviation Industry. Aviation Psychology and Applied Human Factors, vol. 1, no 2, pp 87–98.

Belenky, G., Wesensten, N.J., Thorne, D.R., Thomas, M.L., Sing, H.C., Redmond, D.P., Russo, M.B., & Balkin, T.J. (2003). Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. Journal of Sleep Research, 12(1), 1-12.

Cabon, P., Bourgeois-Bougrine, S., Mollard, R., Coblentz, A., & Speyer, J.J. (2002). Flight and Duty Time Limitations in Civil Aviation and Their Impact on Crew Fatigue: A comparative Analysis of 26 National Regulations. Human Factors and Aerospace Safety: An International Journal, vol. 2, no 4, pp 379-393.

Cabon, P., Deharvengt, S., Grau, J.Y., Maille, N., Berechet, I., Mollard, R., (2012) Research and guidelines for implementing Fatigue Risk Management Systems for the French regional airlines Accident Analysis and Prevention, vol. 45S, pp 41– 44.

Cabon, P. (2015) Des approches prescriptives aux systèmes de gestion du risque fatigue, Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé [En ligne], 17-2 | 2015, mis en ligne le 06 décembre 2015, consulté le 18 janvier 2016. URL : http://pistes.revues.org/4571

Cabon, P.; Somvang, V. (2017) Effects of reduced rest and early start on crew sleep and fatigue in French regional airlines. In Proceedings of the 10th International Conference on Managing Fatigue, San Diego, USA, March 20-23, 2017.

Cabon, P. (2021) La Fatigue. In : Brangier, É., Valléry, G. (2021). Ergonomie : 150 notions clés. Dunod.

Dinges, D. F., Orne, M. T., & Orne, E. C. (1985). Assessing performance upon abrupt awakening from naps during quasi-continuous operations. Behavior Research methods, Instruments and Computers, 17(1), 37-45.

Folkard, S., & Akerstedt, T. (2004). Trends in the risk of accidents and injuries and their implications for models of fatigue and performance. Aviation, Space and Environmental Medicine; 75(3, Suppl.):A161–7.

Foushee, C. H., Lauber, J. K., Baetge, M. M., & Acomb, D. (1986). Crew factors in flight operations: III. The operational significance of exposure to short-haul air transport operations (NASA Technical Memorandum No. 88322). Moffett Field, CA NASA Ames Research Center

Gander, P. Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., Mills, A., Popkin, S., 2011. Fatigue Risk Management : organizational factors at the regulatory and industry/company level. Accident Analysis and Prevention, vol 43, pp 573-590.

International Civil Aviation Organisation (ICAO) (2011). Fatigue Risk Management Systems Manual for Regulators. ICAO Doc 9966, Montreal.

Loh, S., Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G., & Dawson, D. (2004). The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 36(2), 339-346

Mitler, M.M., Carskadon, M.A., Czeisler, C.A., Dement, W.C., Dinges, D.F., & Graeber, R.C. (1988). Catastrophes, sleep, and public policy: consensus report. Sleep, 11(1), 100-109.

Stewart, S. An Integrated System for Managing Fatigue Risk Within a Low Cost Carrier. In : proceedings of the International Aviation Safety Seminar, Flight Safety Foundation, October 23-26, 2006, Paris, France.

Samn, S.W., & Perelli, L.P. (1982). Estimating aircrew fatigue: a technique with application to airlift operations. Brooks AFB, USAF School of Aerospace Medicine. Report No.: SAM-TR-82-21

Signal, T. L., Ratieta, D., Gander, P. H. (2008). Flight crew fatigue management in a more flexible regulatory environment : an overview of the New Zealand aviation industry. Chronobiology International, vol 25, no 2/3, pp 373-388.

ÉPIQUE 2023 : Symposium 104

Concevoir les usages du futur -Approches de conception basée sur les modèles appliqués aux véhicules autonomes et aux systèmes de mobilité urbaine

Organisateur(s)

Bernard Yannou [a], bernard.yannou@centralesupelec.fr

Flore Vallet [a,b], flore.vallet@irt-systemx.fr

& Vincent Boccara [c], vincent.boccara@universite-paris-saclay.fr

[a] Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, 3 Rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France

[b] IRT SystemX, 660 Rue Noetzlin, 91190 Gif-sur-Yvette, France

[c] LISN, CNRS, Université Paris-Saclay, Bat. 508, Rue John Von Neumann, 91400, Orsay, France

OBJECTIFS

L'objectif de ce symposium est de confronter les approches de conception basée sur les modèles aux approches de psycho-ergonomie centrées sur les activités humaines.

En effet, à première vue, ces deux domaines d'étude ont un but assez similaire : celui de concevoir ou d'améliorer un système produit-service, un système socio-technique ou les conditions de réalisation d'une activité humaine. Mais les finalités précises, les paradigmes, les concepts et théories employées, les positionnements épistémologiques, bien que parfois semblables, sont souvent différents. Des synergies entre ces approches de la conception pourraient ainsi contribuer à les enrichir.

Ce symposium exposera synthétiquement cinq études scientifiques du domaine de l'*engineering design* (« la conception pour l'ingénieur »). La dizaine de chercheurs impliqués s'affilient à la société savante internationale *Design Society* (https://www.designsociety.org/) qui s'intéresse à tout ce qui contribue à la bonne conception (pour l'individu, le groupe, la société) d'un artefact (produit, service, système, organisation) en s'assurant que les performances de l'artefact résultant sont satisfaisantes, que celui-ci est robuste aux évolutions, fiable, inclusif, adaptable, évolutif, à coût, impacts environnementaux modérés, et à impacts sociétaux désirables. Il s'agit aussi de s'assurer que le processus de conception est idéalement organisé au sein de l'entreprise ou de l'organisation qui conçoit.

De plus, cette dizaine de chercheurs travaille au sein de la même équipe de recherche, au sein du Laboratoire Génie Industriel de CentraleSupélec, qui s'oriente délibérément vers le **développement d'approches basées sur les modèles,** en nouant des partenariats avec des chercheurs en (psycho-)ergonomie ou encore en sociologie dans certains projets. Cela signifie que, dès que possible, il s'agit de représenter un phénomène (ontologies), de représenter un système par ses composantes (ingénierie système), de représenter un système à un moment de son cycle de vie (ingénierie du besoin, architecture, gestion des connaissances), de simuler les propriétés de l'artefact (CAO, Design-for-X, Analyse de Cycle de Vie), de simuler des solutions faisables et satisfaisantes, d'explorer les espaces de solutions voire même de synthétiser une solution à partir de ses spécifications. Pour nourrir cet outillage de simulation, il est souvent nécessaire de modéliser (statistiquement) des comportements humains (acceptabilité, réactions émotionnelles ou perceptuelles, préférences entre plusieurs offres

commerciales, facteurs de différentiation), d'évaluer la valeur perçue et même de la monétariser pour pondérer les attraits de l'artefact. La relation usager-artefact n'est pas la seule étudiée ; sont également étudiées les relations processus de conception et concepteur(s) (le processus incluant méthodes, outils, décomposition en tâches, est-il à même de garantir un résultat de qualité ?), les relations processus et entreprise (gestion de portefeuille de projets, liens entre recherche et développement, utilisation des ressources et gestion des compétences de l'entreprise, construction de feuilles de route technologique et marché de l'entreprise), et les relations entre artefact et entreprise-société (modèle économique, image de l'entreprise chez les consommateurs, respect de la réglementation, positionnement RSE). Ainsi, l'activité humaine située et ses formes de représentation au cœur des apports de l'ergonomie et la psycho-ergonomie sont présentes dans ces modèles. De même, certains outils de modélisation, d'exploration ou de spécifications traversent aussi bien le champ des *design studies* que celui de l'ergonomie. Pour autant, est-ce que les activités humaines sont analysées et mobilisées de manière similaire dans ces deux champs de recherche et d'ingénierie ? Quelles en sont les complémentarités ?

Cette conception des usages du futur pose des questions nouvelles par rapport à la conception classique. **La responsabilité des concepteurs (ou *designers*) est d'autant plus importante qu'elle engage, prescrit ou impose de nouveaux usages** qui, à leur tour, modifient la vie d'un usager, sa relation aux autres et à la société. Ceci est particulièrement vrai quand les usages sont *en rupture*, comme quand on conçoit des usages du futur. **Les cinq études illustrées dans le symposium concernent la conception de véhicules autonomes - qui n'existent pas encore - et la conception de systèmes de mobilité urbaine** - qui se doivent, vue la grande durée de vie des infrastructures de mobilité sur un territoire, d'être en accord avec des usages désirés du futur -.

La conception des usages du futur nécessite de trouver les meilleures parades à un certain nombre de paradoxes. Voici quelques questions que nous nous posons. Elles seront illustrées au travers des travaux présentés :

- **Quels seront les modes de vie, comment aura évolué la société dans le futur ?** L'utilisation de la *prospective* et des *Future Studies* [c, 16] devraient être plus systématiquement utilisée pour envisager des scénarios possibles du futur, tant la société change rapidement, de manière à esquisser nos possibles modes de vie et priorités du futur. Le *design fiction* [b] peut aussi être exploité pour stimuler l'imagination ou alerter les concepteurs de possibles dystopies.

- **Qui seront les citoyens, usagers du futur ?** Quels seront leurs besoins, envies, pratiques, usages ? A partir de scénarios du futur, il est souhaitable de concevoir les usages désirés du futur pour les usagers du futur. Or, comment imaginer les catégories d'usagers du futur ? Nous avons développé une méthode pour générer une population de *personas* du futur à partir d'une analyse de clustering des usagers actuels et des caractéristiques d'un scénario du futur [c, 14, 18].

- **Comment imaginer les performances ou impacts d'un artefact du futur ?** En effet, nous pouvons dès aujourd'hui imaginer concevoir un véhicule autonome (VA) qui sera massivement déployé en 2035. Mais les multiples nouveaux usages qu'il est possible d'imaginer vont-ils nécessairement conduire à un mieux vivre individuellement, en groupe et en société ? Nous avons imaginé un garde-fou à la conception débridée des ingénieurs, ce dernier évaluant les impacts probables d'un usage à partir d'un scénario de design. Un modèle d'*impacts* (plus approprié que *performances*) à trois niveaux (individuel, groupe et société) a été proposé. Il a ensuite été relié à une base de données de scénarios futuristes d'usages des VAs. Il en résulte un outil d'*analyse* ou de *simulation* (d'un concept de solution par analogie avec les solutions de la base de données) et de *synthèse* ou de *stimulation* (pour partir d'un ensemble d'usages désirés et aboutir à des exemples de scénarios de VAs).

- **Qui est en capacité d'analyser la pertinence d'un design du futur ?** En conception classique, la Conception-Centrée-Usagers (CCU) donne presque toujours satisfaction quoique pouvant aboutir à des conceptions répondant à des besoins individuels [16]. Quand on conçoit des artefacts du futur, les usagers du présent n'ont pas toujours les connaissances pour envisager la pertinence d'une solution car ils tirent leur expertise des usages du présent. Nous faisons l'hypothèse qu'une série de personnes d'expertises complémentaires est plus à même d'imaginer l'utilité et la pertinence des usages du futur, à partir d'un scénario donné du futur [b, c].

- **La conception de moyens de transports, nécessite de savoir représenter à la fois l'expérience d'un voyageur (User ou Traveler eXperience) pour interroger son vécu et améliorer un existant** [11-13, 15]**, mais aussi pour que des concepteurs partagent un langage commun pour spécifier, concevoir et valider une nouvelle UX** [e]**.** Si un champ entier de recherche et professionnel s'est développé autour

de l'expérience utilisateur, on sait en revanche peu de choses sur les méthodes d'amélioration de la prise en compte de l'expérience utilisateur au sein d'équipe de concepteur. Comment sont-ils équipés conceptuellement et méthodologiquement ? Comment peut-on renforcer la prise en compte de l'expérience utilisateur en conception ? Cela implique-t-il des transformations du travail des concepteurs ?

- **La conception de Véhicules Autonomes est nécessairement basée sur un apprentissage des multiples situations de conduite du monde réel. Comment est-ce possible de valider le programme de conduite du VA et les composants ADAS associés à la sécurité, lorsque les données liées aux situations accidentogènes impliquant des VAs sont inexistantes** [d] **?**
- **Quelle méthodologie d'innovation est la plus appropriée pour innover à partir des défaillances observées dans les situations d'usage rencontrées dans la pratique d'une activité ?** Nous développons depuis plus de 10 ans une méthodologie, Radical Innovation Design, qui considère la conception innovante comme l'amélioration d'un système d'activité (au sens de Engeström Y., Miettinen R., Punamäki R.-L., 1999. Pespectives on activity theory, Cambridge, UK: Cambridge University Press) [f].

STRUCTURATION

Le temps du symposium est de **120 minutes**.

- Le symposium comportera une courte introduction sur les objectifs et attendus du symposium (**10 min**).
- Puis, 5 présentations s'enchaineront d'une durée de 10 minutes chacune suivies de 8 minutes de questions/réponses (total de **90 min**)
- S'ensuit un débat général avec les participants (**20 min**), débat axé autour de deux temps et questions (rapports d'étonnement et enrichissements mutuels possibles).

Le programme détaillé est le suivant :

[a] **Bernard Yannou, Flore Vallet, Vincent Boccara**. Introduction.

L'objectif de confronter les approches de conception basée sur les modèles aux approches de psycho-ergonomie. Le cadre applicatif « Approches de conception basée sur les modèles appliquées aux véhicules autonomes et aux systèmes de mobilité urbaine » interroge sur la représentation du futur, des usages et des usagers du futur, et de la nécessaire adaptation des méthodes de conception. La psycho-ergonomie peut -elle aider ?

[b] **Bernard Yannou, Robin Lecomte, Roland Cahen** : Comment définir un cadre Usages-Impacts-Représentations pour mieux caractériser les impacts sociaux probables à long terme des véhicules autonomes ?

Certains systèmes comme le véhicule autonome ont la particularité d'être encore très prospectifs (déploiement massif dans plus de 30 ans) tout en étant susceptibles de créer une rupture profonde des usages. A long terme, cela pourrait conduire à des impacts sociaux catastrophiques voir irréversibles. Il est alors de la responsabilité des personnes travaillant sur ce type de système d'essayer d'anticiper ces impacts dès aujourd'hui. Or, la dimension hautement prospective rend la plupart des méthodes d'évaluation d'impacts inefficaces. Ainsi, nous proposons une méthode originale de caractérisation d'impacts sociaux basée sur les usages et exploitant les connaissances d'experts en sociologie.

[c] **Flore Vallet, Tjark Gall, Bernard Yannou** : Quelle Conception-Centrée-Humains pour spécifier et concevoir un Système de Mobilité Urbain ? Illustration de workshops collaboratifs au Caire et à Paris-Saclay ?

Nous pouvons modéliser la mobilité urbaine comme un système complexe, constitué, par exemple, de l'environnement bâti, des gens avec leurs comportements et de la technologie. Mais les conditions varient selon les contextes, ce qui nécessite une adaptation des méthodes. Dans ce processus de conception, diverses parties prenantes collaborent pour parvenir à des futurs systèmes durables et centrés sur les personnes. Pour la conception de ces systèmes, nous avons développé une approche de conception locale et collaborative et l'avons appliquée à Paris et au Caire. Nous présentons l'approche en mettant l'accent sur la conception d'ateliers collaboratifs et la nécessité de l'adaptation et localisation.

[d] **Zhenguo Cui, Adam Abdin, Bernard Yannou** : Comment simuler en tout-automatique la sécurité des véhicules autonomes alors qu'il est impossible de faire l'apprentissage des situations accidentogènes des VAs ?

Cette étude est concernée par la génération des situations proches d'accident pour améliorer la sécurité des véhicules autonomes (VA) dans un contexte d'apprentissage dans la simulation. La prise de décision d'un VA dépend de sa compréhension face aux évolutions de l'environnement complexe qui l'entoure. La plupart des accidents qui impliquent un VA pendant la période 2014-2018 en Californie ont été provoqués par les autres usagers routiers [19], dans des situations imprévues ou voire inconnues où un VA n'a pas pu évaluer les risques et éviter l'accident. Plusieurs métriques qui distinguent les différentes situations sur la route : interaction entre véhicules ou entre véhicule et usagers vulnérables sont présentes dans la littérature et peuvent permettre d'identifier les situations critiques ou dangereuses [20]. Ces critères deviennent des indicateurs de sécurité des véhicules autonomes. La simulation est la clé pour tester et valider en tout-automatique la prise de décision des VAs quand l'apprentissage à partir des situations accidentogènes est impossible.

[e] **Vincent Boccara, Benoît Dabouis, Bernard Yannou** : Représenter l'expérience usagers dans le processus de conception d'un habitable véhicule pour mieux spécifier, concevoir et évaluer l'UX

Cette communication vise à présenter une méthode originale de diagnostic de la prise en compte de l'expérience utilisateur (UX) dans un projet de conception en vue de dégager des pistes d'amélioration. Cette méthode est en cours de construction dans le cadre d'une thèse au sein d'une agence de design qui souhaite développer ses savoir-faire pour mieux intégrer l'UX dans ses processus de conception. Elle s'est appuyée sur une analyse rétrospective et in vivo de cinq projets de conception de l'entreprise, à partir d'analyse documentaire, d'entretiens et d'observations. Cette méthode produit des représentations graphiques qui permettent de rendre compte explicitement de la manière dont l'UX est travaillée au cours du processus de conception. Ces représentations sont ensuite utilisées pour construire collectivement des pistes d'amélioration du processus de conception.

[f] **Bernard Yannou, Flore Vallet, François Cluzel** : Innover par les usages sur un périmètre d'activité : la méthodologie Radical Innovation Design illustrée par son jeu sérieux sur l'innovation de la mobilité sur le Grand Paris

Pour aller au-delà du *Design Thinking* et de certaines de ses limitations, nous avons développé la méthodologie Radical Innovation Design (RID). C'est une méthodologie de conception innovante, complète et structurée des points de vue du processus, de la gestion des données, de sa plateforme numérique de gestion de projet et de la traçabilité des décisions. RID est délibérément axée sur la modélisation des usages et centrée sur les performances et la satisfaction des usagers dans une activité. Nous présenterons ici le jeu sérieux RID qui permet en 4 heures d'appréhender la majorité des concepts et du processus originaux de RID en mettant en scène les usagers de la mobilité en Ile de France, leurs usages quotidiens et les insatisfactions qu'ils vivent selon les moyens de transport utilisés ou à disposition. La scénarisation du jeu plonge les apprenants dans la complexité de la contextualisation des usages, préalable et nécessaire pour produire une innovation utile.

[g] La synthèse est un débat autour des deux questions suivantes :

- Quels sont vos rapports d'étonnement principaux ?
- Quels enrichissements mutuels entrevoyez-vous entre les sciences de la conception (ingénierie) et la psycho-ergonomie ?

CONTRIBUTEURS AU SYMPOSIUM

- **Bernard Yannou**[(a)] est Professeur, Directeur du Laboratoire Génie Industriel et Directeur-adjoint de la Recherche de CentraleSupélec.
- **Flore Vallet**[(a) (e)] est titulaire de la Chaire Anthropolis, HDR, à l'IRT SystemX et rattachée en recherche au sein du LGI de CentraleSupélec.
- **Vincent Boccara**[(b)] est Maitre de Conférences en Ergonomie au LISN de l'Université Paris-Saclay.
- **François Cluzel**[(a)] est Maitre de Conférences en Ingénierie de la Conception au LGI de CentraleSupélec.

- **Roland Cahen**[(c)] est Maitre de Conférences, HDR, en design à l'Ecole Nationale Supérieure de Création Industrielle (ENSCI), en recherche au sein du Centre de Recherches en Design (CRD) de l'ENS Paris-Saclay.
- **Adam Abdin**[(a)] est Maitre de Conférences en Gestion des Opérations et Optimisation au LGI de CentraleSupélec.
- **Robin Lecomte**[(a) (d)] est Doctorant CIFRE Stellantis, inscrit en thèse au LGI de CentraleSupélec.
- **Tjark Gall**[(a) (e)] est Doctorant de la chaire Anthropolis SystemX/CentraleSupélec, inscrit en thèse au LGI de CentraleSupélec.
- **Zhenguo Cui**[(a) (f)] est Doctorant CIFRE ALTEN Labs, inscrit en thèse au LGI de CentraleSupélec.
- **Benoît Dabouis**[(a) (g)] est Doctorant CIFRE Style & Design, inscrit en thèse au LGI de CentraleSupélec.

[(a)] Laboratoire Génie Industriel (LGI), CentraleSupélec, Université Paris-Saclay – 3, rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette
[(b)] LISN, Université Paris-Saclay, Campus Universitaire bâtiment 507, Rue du Belvédère, 91400 Orsay
[(c)] ENSCI, Centre de Recherches en Design, ENS Paris-Saclay, 4 Av. des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette
[(d)] Stellantis, Site de Vélizy, Rte de Gisy, 78140 Vélizy-Villacoublay
[(e)] SystemX, 2 Bd Thomas Gobert, 91120 Palaiseau
[(f)] Alten Labs, Bâtiment Crisco DUO, 7 avenue de la Cristallerie, 92310 Sèvres, France
[(g)] Style & Design, 1 Rue Marie Curie, 78310 Maurepas

REFERENCES – PUBLICATIONS DES ORATEURS

[1] He L., Chen W., Hoyle C., Yannou B., 2012. Choice Modeling for Usage Context-Based Design. *Journal of Mechanical Design*, 134 (3), doi: DOI: 10.1115/1.4005860.

[2] Picon L., Yannou B., Zaraket T., Minel S., Bertoluci G., Cluzel F., Farel R., 2013. Use-phase memory: a tool for the sustainable construction and renovation of residential buildings. *Automation in Construction*, 36, 53-70, doi: 10.1016/j.autcon.2013.08.003.

[3] Wang J., Yannou B., Alizon F., Yvars P.-A., 2013. A Usage Coverage-Based Approach for Assessing Product Family Design. *Engineering With Computers*, 29 (4), 449-465, doi: 10.1007/s00366-012-0262-1.

[4] Yannou B., Yvars P.-A., Hoyle C., Chen W., 2013. Set-based design by simulation of usage scenario coverage. *Journal of Engineering Design*, 24 (8), 575-603, doi: 10.1080/09544828.2013.780201.

[5] Bekhradi A., Yannou B., Farel R., Zimmer B., Chandra J., 2015. Usefulness Simulation of Design Concepts. *Journal of Mechanical Design*, 137 (7 (special issue on "User Needs and Preferences in Design Engineering")), 071414-071414-12, doi: 10.1115/1.4030180.

[6] Zaraket T., Yannou B., Leroy Y., Minel S., Chapotot E., 2015. An occupant-based energy consumption model for user-focused design of residential buildings. *Journal of Mechanical Design*, 137 (7 - special issue on "User Needs and Preferences in Design Engineering"), 071412-071412-5, doi: 10.1115/1.4030202.

[7] Yannou B., Cluzel F., Farel R., 2016. Capturing the relevant problems leading to pain and usage driven innovations: the DSM Value Bucket algorithm. *Concurrent Engineering - Research And Applications (CERA)*, 1-16, doi: 10.1177/1063293X16666311.

[8] Lamé G., Leroy Y., Yannou B., 2017. Ecodesign tools in the construction sector: analyzing usage inadequacies with designers' needs. *Journal of Cleaner Production*, 148, 60-72, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.173.

[9] Lamé G., Yannou B., Cluzel F., 2018. Usage-Driven Problem Design for Radical Innovation in Healthcare. *BMJ Innovations*, 4 (1), 15-23, doi: 10.1136/bmjinnov-2016-000149.

[10] Leroy Y., Yannou B., 2018. An activity-based modelling framework for quantifying occupants' energy consumption in residential buildings. *Computers in Industry*, 103, 1-13, doi: 10.1016/j.compind.2018.08.009.

[11] Al Maghraoui O., Puchinger J., Vallet F., Yannou B., 2019. Stimulating usage problem generation: An urban mobility case study. *Design Studies*, 64, 27-63, doi: 10.1016/j.destud.2019.07.001.

[12] Al Maghraoui O., Puchinger J., Vallet F., Yannou B., 2019. Modeling traveler experience for designing urban mobility systems. *Design Science*, 5, doi: 10.1017/dsj.2019.6.

[13] Al Maghraoui O., Puchinger J., Vallet F., Yannou B., 2019. Stimulating usage problem generation: An urban mobility case study. *Design Studies*, 64, 27-63, doi: 10.1016/j.destud.2019.07.001.

[14] Vallet F., Puchinger J., Millonig A., Lamé G., Nicolaï I., 2020. Tangible futures: Combining scenario thinking and personas—A pilot study on urban mobility. *Futures*, 117, doi: 10.1016/j.futures.2020.102513.

[15] Al Maghraoui O., Vosooghi R., Mourad A., Kamel J., Puchinger J., Vallet F., Yannou B., 2020. Shared Autonomous Vehicle Services and User Taste Variation: Survey and Model Applications. *Transportation Research Procedia*, 47, 3-10, doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.066.

[16] Gall T., Vallet F., Douzou S., Yannou B., 2021. Re-defining the System Boundaries of Human-Centred Design, In 23rd International Conference on Engineering Design (ICED), August 16-20, Gothenburg, Sweden.

[17] Gall T., Vallet F., Yannou B., 2022. How to visualise Futures Studies Concepts: A Revision of the Futures Cone. *Futures*.

[18] Gall T., Hörl S., Vallet F., Yannou B., 2022. Integrating future trends and uncertainties in urban mobility design via data-driven personas and scenarios. *Submitted to* European Transport Research Review.

[19] Wang, J., Zhang, L., Huang, Y. and Zhao, J., 2020. Safety of autonomous vehicles. Journal of advanced transportation, 2020.

[20] Westhofen, L., Neurohr, C., Koopmann, T., Butz, M., Schütt, B., Utesch, F., Neurohr, B., Gutenkunst, C. and Böde, E., 2022. Criticality metrics for automated driving: A review and suitability analysis of the state of the art. Archives of Computational Methods in Engineering, pp.1-35.

Innover par les usages sur un périmètre d'activité : la méthodologie Radical Innovation Design illustrée par son jeu sérieux sur l'innovation de la mobilité sur le Grand Paris.

Bernard Yannou, Flore Vallet & François Cluzel

LGI, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, 3 rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France

bernard.yannou@centralesupelec.fr, flore.vallet@centralesupelec.fr, francois.cluzel@centralesupelec.fr

RÉSUMÉ

Pour aller au-delà de certaines limitations du Design Thinking en conception innovante, nous avons développé la méthodologie Radical Innovation Design (RID). Il s'agit d'une méthodologie de conception innovante, complète et structurée des points de vue du processus, de la gestion des données, de sa plateforme numérique de gestion de projet et de la traçabilité des décisions. RID est délibérément axée sur la modélisation des usages et centrée sur les performances et la satisfaction des usagers dans une activité. Après avoir introduit les concepts novateurs de RID, nous présentons le jeu sérieux RID qui permet en quatre heures d'appréhender la majorité de ces concepts en mettant en scène les usagers de la mobilité dans une métropole, leurs usages quotidiens et les insatisfactions qu'ils vivent selon les moyens de transport utilisés ou à disposition. La scénarisation du jeu plonge les apprenants dans la complexité de la contextualisation des usages, un préalable nécessaire pour produire une innovation utile et profitable.

MOTS-CLÉS

Conception innovante, Conception par les usages, Jeu sérieux, Design Thinking, Management de l'innovation

1. INTRODUCTION

Innover par les usages est considéré comme la pratique d'innovation la plus gratifiante mais également la plus difficile [1-3]. La littérature s'accorde généralement à distinguer trois cas de figures en innovation. Norman et Verganti [4-6] considèrent deux types de stratégies d'innovation radicale : (i) le « *design-driven innovation* » (DDI) où les usages et le sens des activités sont remodelés (« *pushing new means* »), et (ii) le « *technology push innovation* » (TPI), ainsi qu'une stratégie d'innovation incrémentale associée aux pratiques de conception centrée sur l'humain (HCD), elles-mêmes popularisées par les approches de Design Thinking (DT) [7]. Ces trois cas de figure se retrouvent exprimées de manière sensiblement similaires par une étude de Booz & Company [8-9] qui considère les trois stratégies d'innovation « need seeker » (NSI correspondant à DDI), « *technology driver* » (TDI correspondant à TPI) et « *market reader* » (MRI correspondant à HCD) selon que l'accent est mis sur les usages et besoins non exprimés par les usagers, la technologie, ou le marché (améliorations formulées par les usagers ou sur le modèle économique). L'étude de Booz et Company a statistiquement montré sur une cohorte d'entreprises américaines puis françaises que pour une stratégie d'innovation axée sur la recherche de besoins (donc de type DDI ou NSI), les nouveaux produits et services s'appuient sur une compréhension supérieure de l'utilisateur final dans ses modes de vie actuels et futurs, et que ces entreprises ont de bien meilleurs résultats financiers que les autres.

Constatant le manque de méthodologie de conception innovante radicale du point de vue des utilisateurs (de type DDI ou NSI), nous avons développé la méthodologie *Radical Innovation Design*

(RID) [10-12]. RID partage la conviction de Christensen [13-14] que le grand secret du succès de l'innovation est de permettre à ses usagers bénéficiaires de l'innovation d'améliorer les performances de leurs activités (concept de « *jobs to be done* »), quelque soient celles-ci : professionnelles ou personnelles, physiques ou intellectuelles, qu'il s'agisse d'un domaine fonctionnel ou émotionnel. RID a généralisé cette notion de *job* au concept d'*activité* largement utilisé par les psychologues et les ergonomes. En définitive, RID considère la conception innovante comme un processus d'amélioration d'un système d'activité (voir Figure 1) au sens d'Engeström [15]. Après avoir cadré l'activité d'intérêt, celle-ci est méticuleusement observée à l'aide d'une approche HCD afin de détecter les zones de douleur et d'attente tout en avançant de nouvelles significations au sens de Verganti [5], puis de décider quelles pistes d'innovation pour la conception de l'activité future méritent d'être suivies.

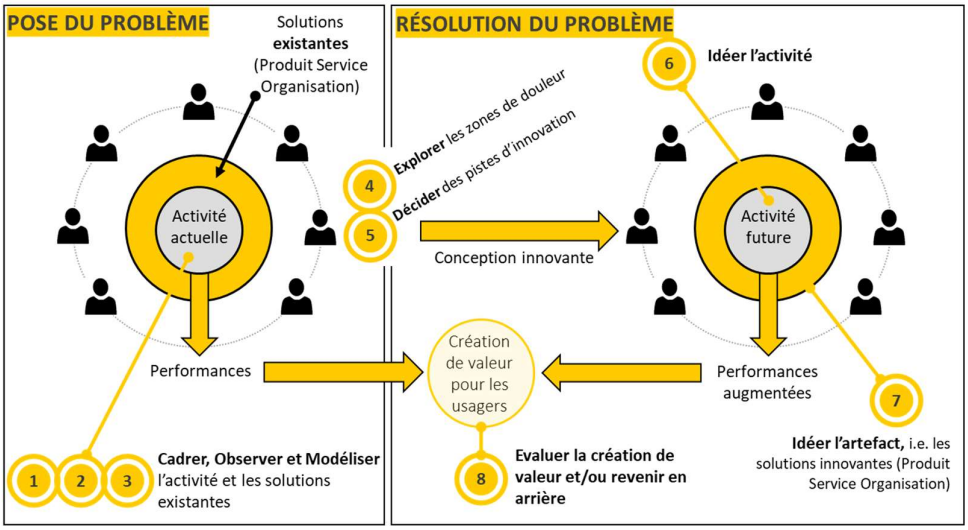


Figure 1 : RID considère la conception innovante comme l'amélioration d'un système d'activités

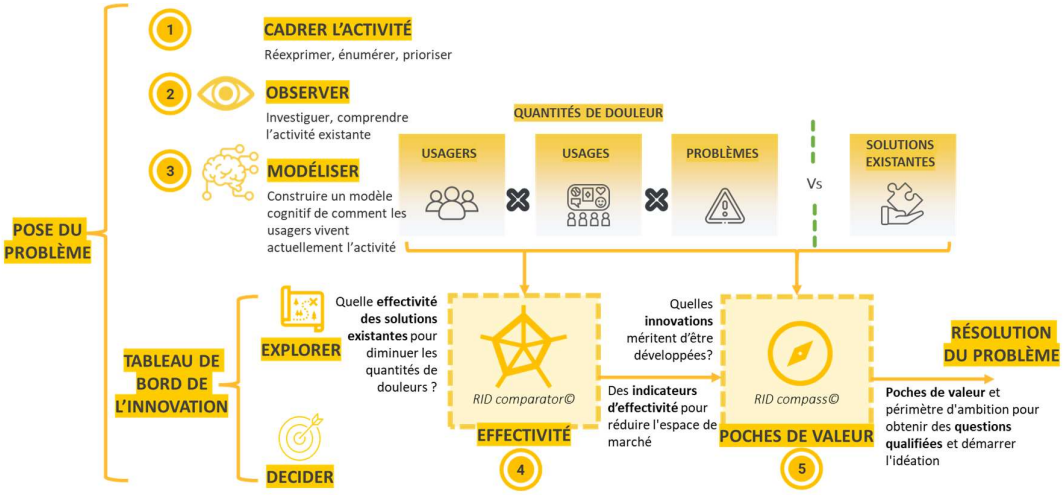


Figure 2 : La pose du problème dans RID consiste à construire un modèle cognitif de l'activité, simuler l'effectivité des solutions existantes et enfin prioriser les poches de valeur à partir desquelles innover utilement.

Pour cela, un langage de modélisation est fourni pour décomposer une activité en classes de *situations d'usage* archétypales, catégoriser les *usagers* actuels et potentiels de l'activité, affecter les douleurs (*pains*) et les attentes (*gains*) à des classes de *problèmes* généralisés, et enfin caractériser des classes de *solutions existantes* sur le marché (voir Figure 2). Un modèle cognitif de l'activité actuelle est construit en croisant les quatre dimensions par des échelles de mesure qualitatives (ordinales). Une

fois ce modèle construit, les concepteurs simulent l'effectivité des solutions existantes (outil *RID comparator*) dans les situations d'usage pour les différents usagers, afin de réduire l'espace de marché, puis calculent des « poches de valeur » (outil *RID compass*) à partir desquelles il est conseillé d'idéer pour innover utilement. RID est, à notre connaissance, la première méthodologie informatisée pour étudier une activité de manière segmentée et mettre en œuvre une innovation guidée par l'usage.

L'apprentissage de la méthodologie, bien que naturelle pour les praticiens du Design Thinking, déroute un peu au début car elle fournit une colonne vertébrale au processus d'innovation par les usages que ces praticiens n'ont pas l'habitude d'envisager, le Design Thinking étant beaucoup plus informel. En effet, RID introduit des concepts tout à fait nouveaux (segmentation de l'activité en 4 dimensions, *quantité de douleurs*, *poche de valeur*, *périmètre d'ambition*, *utilité*). RID introduit également des métriques (*quantité de douleurs*, *effectivité*) qui sont inédites en innovation. Certaines étapes et attitudes sont plus systématiques et approfondies comme celle de l'observation de l'activité avec les notions de *stratégies d'investigation* et de *connaissances profondes*.

2. DEVELOPPEMENT D'UN JEU SERIEUX RID POUR INNOVER EN MOBILITE URBAINE

Il nous est rapidement apparu nécessaire de savoir convaincre des étudiants initiés aux méthodes du Design Thinking, ainsi que des professionnels pratiquants du Design Thinking, que dans de nombreuses situations d'innovation, l'utilisation du processus et des outils RID permettait d'explorer et d'exploiter bien plus systématiquement les opportunités d'innovation (concept de *poches de valeur*). Pour ces populations d'apprenants, nous avons eu pour objectif de développer un jeu sérieux qui permette en 4 heures de temps d'aborder 80% des concepts, attitudes et outils spécifiques à RID. Ceci a été réalisé par le moyen d'une thèse de doctorat qui a consisté à définir une approche de conception générique de jeu sérieux pour l'apprentissage d'une méthode de génie industriel (GI) [16-17] en partant d'une cartographie des éléments de connaissance à explorer, à savoir : le *processus* (de la méthode de GI), les *performances* (à améliorer par cette méthode), les *principes* et *concepts* structurants, les *méthodes* et *outils* et enfin les *compétences* spécifiques nécessaires. Le cas d'application a consisté à développer un jeu sérieux pour l'apprentissage de RID.

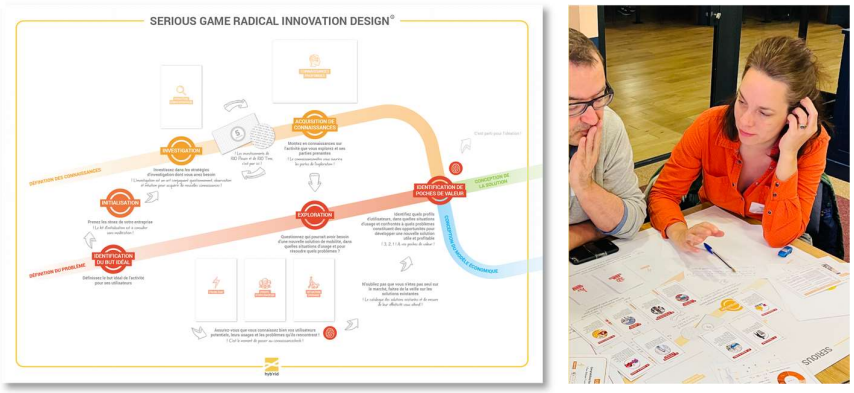


Figure 3 : Plateau du jeu sérieux Radical Innovation Design

Ce jeu a maintenant été utilisé lors de 5 séances avec des étudiants en 4ème et en 5ème année d'école d'ingénieurs, ainsi qu'au cours de 5 séances pour des professionnels de l'innovation aux trois-quarts expérimentés en Design Thinking. Le plateau de jeu (Figure 3) illustre de manière schématique la « pose du problème » d'un processus RID. Un premier sabot de cartes consiste à explorer la « Mobilité dans une métropole », chaque apprenant se sentant en partie expert de cette activité. Chaque groupe de joueurs (Figure 4) est invité à choisir d'endosser le rôle d'une entreprise parmi quatre. L'objectif du jeu est « *d'identifier 5 poches de valeur pour initier une innovation de rupture qui soit significativement utile pour les usagers ciblés et profitable pour l'entreprise* ». Les joueurs investissent alors (temps et argent) dans des *stratégies d'investigation* qui leur révèlent des connaissances profondes, celles-ci leur permettant de débloquer un certain nombre d'*usagers*, de

situations d'usage et de *problèmes*. L'(in)effectivité des solutions de mobilité actuelles leur est révélée par un document annexe. A charge ensuite pour eux de proposer une série de 5 *poches de valeur* comme des triplets (*usager*, *usage*, *problème*) susceptibles, en cas d'innovation, de créer de *l'utilité* pour les *usagers* et de la *profitabilité* pour l'entreprise. Il peut y avoir plusieurs équipes gagnantes, le but étant de se placer le front de Pareto dans un espace (*utilité*, *profitabilité*).

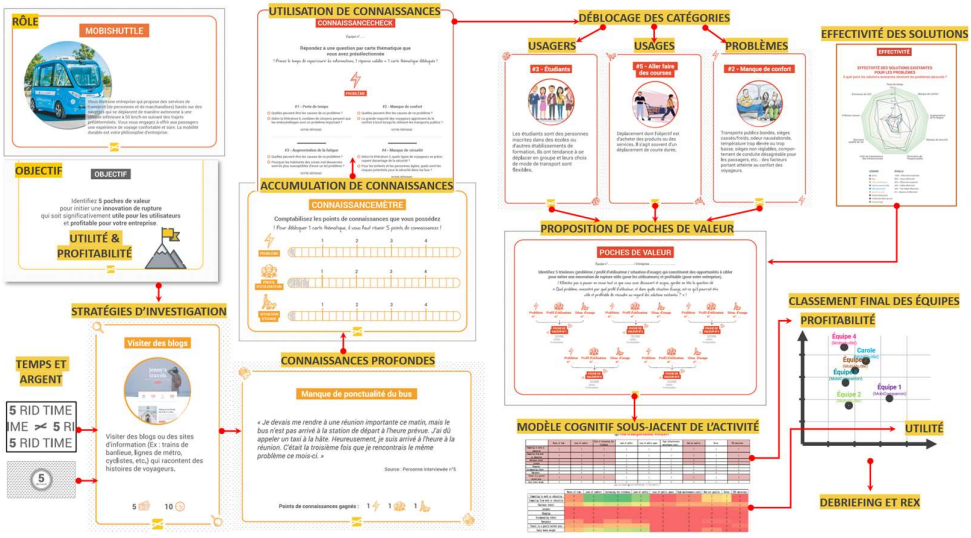


Figure 4. Synoptique des éléments et du storyboard du jeu sérieux RID

Ces 10 parties de jeu impliquant plus de 200 joueurs apprenants ont fait l'objet d'une expérimentation - au travers de deux questionnaires pré- et post- séance de jeu - pour valider deux hypothèses : (i) « *Le jeu a permis une bonne compréhension du processus, des concepts, et des outils de RID* », (ii) « *Le jeu et l'approche RID ont ouvert à une nouvelle compréhension - relativement aux connaissances préalable du Design Thinking – de la complexité des situations d'usage d'une activité et de la nécessaire exploration préalable à une conception par les usages qui soit réellement utile* ». Enfin, les joueurs ont tous témoigné d'une grande jouabilité, étant embarqués dans le jeu.

1. Pizelle, P., Hoffmann, J., Verchère, C., & Aubouy, M. (2014). *Innover par les usages* : Editions d'Innovations.
2. Yannou, B., & Cluzel, F. (2015). Observer et représenter des usages *Déployer l'innovation : Méthodes, outils, pilotage et cas d'étude*. Paris: Techniques de l'Ingénieur, ISBN 978-2-85059-129-7.
3. Yannou, B., Lamé, G., & Cluzel, F. (2018). Radical Innovation Design : Innover par les usages grâce à l'identification de poches de valeur. In O. de Hemmer & H. Poissonnier (Eds.), *Valeur(s) et Management*, 2nde édition, pp. 269-287. Paris: Editions EMS.
4. Norman, D. A., & Verganti, R. (2014). Incremental and radical innovation: Design research vs. technology and meaning change. *Design Issues, 30*(1), 78-96. doi:10.1162/DESI_a_00250
5. Verganti, R. (2009). *Design driven innovation: changing the rules of competition by radically innovating what things mean*. Brighton MA: Harvard Business Press.
6. Baha, E., Ghei, T., & Kranzbuhler, A. (2021). *Mitigating company adoption barriers of design driven innovation with human centered design*. Paper presented at the 23rd International Conference on Engineering Design (ICED), Gothenburg, Sweden.
7. Brown, T. (2008). Design Thinking. *Harvard Business Review, 86*, 84–92.
8. Jaruzelski, B., Loehr, J., & Holman, R. (2012). The Global Innovation 1000: Making Ideas Work. Available at: http://www.strategy-business.com/article/00140?gko=f41fe.

9. Jaruzelski, B., Staack, V., & Goehle, B. (2014). Proven Paths to Innovation Success - Ten years of research reveal the best R&D strategies for the decade ahead. *Strategy+Business, 77*.
10. Yannou, B. (2015). *Supporting need seeker innovation: The Radical Innovation Design methodology.* Paper presented at the ICED: International Conference on Engineering Design, Milano, Italy.
11. Yannou, B., Cluzel, F., & Farel, R. (2016). Capturing the relevant problems leading to pain and usage driven innovations: the DSM Value Bucket algorithm. *Concurrent Engineering - Research And Applications (CERA)*, 1-16.
12. Yannou, B., Lamé, G., & Cluzel, F. (2018, August 26-29). *Adapting the FBS model of designing for usage-driven innovation processes.* Paper presented at the IDETC/CIE 2018: Int. Design Engineering Technical Conferences, Quebec, Canada.
13. Christensen, C. (2003). *The Innovator's Solution: Creating and Sustaining Successful Growth*: Harvard Business School Press.
14. Christensen, C. (2011). *The Innovator's Dilemma: The Revolutionary Book That Will Change the Way You Do Business*: HarperBusiness.
15. Engeström, Y., Miettinen, R., & Punamäki, R.-L. (1999). *Pespectives on activity theory*. Cambridge University Press.
16. Ma, Y. (2021). *Design of serious games for teaching industrial engineering methodologies: A design process based on V-model and an application in innovation engineering.* (PhD thesis), Université Paris-Saclay.
17. Ma, Y., Vallet, F., Cluzel, F., & Yannou, B. (2019). *Analysing the relevance of serious game elements for effectively teaching innovation processes*. Paper presented at the 22nd Int. Conference on Engineering Design (ICED), Delft, The Netherlands.

Comment concevoir des systèmes de mobilité urbaine pour les citadins du futur ?

Tjark Gall, Flore Vallet & Bernard Yannou

LGI, CentraleSupélec, 3 Rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France

tjark.gall@urban-framework.com

flore.vallet@centralesupelec.fr

bernard.yannou@centralesupelec.fr

RÉSUMÉ

La mobilité urbaine peut être modélisé comme un système sociotechnique adaptatif complexe, composé de l'infrastructures, des services, des personnes et de leurs comportements. Tout cela varie selon le contexte local et à mesure que nous nous dirigeons vers l'avenir. Un défi particulier est de concevoir pour les futurs usagers car ils ne peuvent pas participer au processus de conception par les méthodes connues. Pour les intégrer, nous présentons une méthode mixte et localisée pour aider la conception. Nous mettons l'accent sur les caractéristiques humaines adaptables dans le cadre de la mobilité. Des personas sont des objets de conception intermédiaires pour adapter des populations synthétiques (PS) à plusieurs scénarios futurs. Le résultat est un ensemble de personas et de PS du futur, qui aident la conception aujourd'hui. Les personas sont des éléments utiles pour les processus de conception qualitatifs tandis que les PS nourrissent les approches quantitatives, en particulier la simulation multi-agents.

MOTS-CLÉS

Incertitude, scénarios, conception centrée sur les personnes, mobilité urbaine, populations synthétiques

1. INTRODUCTION

Les concepteurs de solutions pour le monde actuel et futur sont confrontés à deux défis : 1) Des risques et des pressions sans précédent de la crise climatique qui nécessitent des solutions systémiques, urgentes et localisées, et 2) Les incertitudes introduites par la modélisation et la conception d'un système du futur, telles que les modes de vie et préférences des personnes, les ressources disponibles ou le progrès technologique. Dans le contexte de la mobilité urbaine, cela signifie que les concepteurs sont chargés de fournir des solutions à la fois durables pour le collectif et centrées sur les besoins des personnes pour déplacer efficacement les citadins entre le domicile, le travail et d'autres destinations. Les solutions peuvent couvrir les services et les produits. Les concepteurs doivent faire des hypothèses sur ce qu'il est susceptible d'arriver dans le futur. Pour remédier en partie à ce manque d'informations, des méthodes ont été développées pour aider les concepteurs. L'une des plus courantes est une approche basée sur des scénarios (Spaniol et Rowland, 2018). Pourtant, nous remarquons que même lorsque les concepteurs utilisent des scénarios du futur, ils ne prennent souvent en compte que des informations contextuelles, telles que le changement climatique, les technologies dominantes ou les trajectoires de croissance urbaine.

Il y a un manque d'intégration systématique des futurs utilisateurs, ainsi que de ceux qui sont concernés sans utiliser certaines solutions. Comme nous parlons de mobilité dans un contexte à prédominance urbaine, nous qualifions ces personnes de citadins. Des modèles existent : les plus courants sont les populations synthétiques (PS) pour les méthodes de conception quantitatives comme la simulation multi-agents (Hörl et Balac, 2021) et les personas pour les méthodes qualitatives (Vallet et al., 2020). Ces approches ont, jusqu'à présent, été utilisées séparément et ont peu intégré les incertitudes sur le futur comme l'évolution des préférences, des besoins de mobilité ou des

technologies. La question se pose de savoir *comment concevoir des systèmes de mobilité urbaine pour les citadins du futur ?* Pour répondre à cela, nous utilisons les personas et les approches existantes pour leur adaptation aux contextes futurs afin de créer des PS du futur, et ainsi avoir un ensemble de représentations qualitatives et quantitatives des citadins du futur, pour renforcer la conception et la simulation de solutions aujourd'hui. Dans cet article, nous décrivons le contexte, l'approche basée sur des scénarios archétypaux (Miskolczi et al. 2021) pour la conception avec des incertitudes sur le futur, suivie d'une description de la méthode et des principales caractéristiques des citadins du futur.

2. CONCEVOIR DES SYSTEMES DE MOBILITE URBAINE DU FUTUR

Le contexte d'application est celui de la mobilité urbaine que nous modélisons comme un système sociotechnique adaptatif complexe (Gall et al., 2021a). Les composants clés qui le structurent se divisent en trois catégories : les personnes, les infrastructures et les services, qui sont en relation les uns avec les autres et peuvent être utilisés pour modéliser les futurs systèmes de mobilité urbaine.

Pour intégrer la vision du futur dans une approche structurée, nous utilisons des scénarios qui nous permettent de travailler avec de multiples futurs possibles (Gall et al., 2022). Spaniol et Rowland (2018) présentent les caractéristiques des scénarios comme ayant une propriété temporelle enracinée dans le futur et faisant référence à des forces externes. Ceux-ci doivent être possibles et plausibles tout en prenant la forme d'une histoire ou d'une description narrative. Enfin les scénarios co-existent dans des ensembles en tant qu'alternatives significativement différentes les unes des autres (Spaniol et Rowland, 2018). Leur avantage est qu'ils explorent différentes possibilités. Cela peut être particulièrement utile pour l'idéation, la conception et la planification de solutions futures, comme des nouveaux produits, services ou même des politiques publiques.

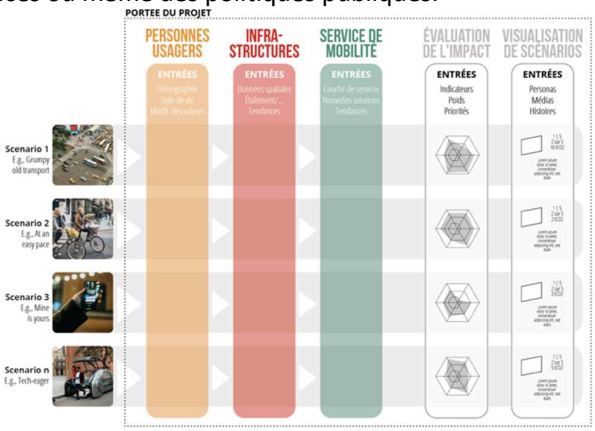


Figure 2 : Lien entre les systèmes de mobilité urbaine et les scénarios basés sur Miskolczi et al. 2021

Les scénarios futurs s'appuient sur des tendances et des incertitudes. Les tendances sont supposées se matérialiser tandis que la réalisation d'incertitudes est inconnue. En combinaison avec la modélisation du système de mobilité urbaine, nous arrivons à une approche représentée fig. 1. À travers un ensemble de scénarios prédéfinis, nous adaptons les futurs systèmes de mobilité urbaine, en commençant par la projection des personnes, suivie par l'adaptation des infrastructures, et enfin la proposition de services de mobilité. Nous nous attachons à définir la première colonne du système de mobilité urbaine, les personnes ou plus précisément les futurs citadins. Diverses approches de conception existent pour concevoir avec, pour ou par des personnes. Pourtant, de nombreuses approches participatives courantes ne conviennent pas quand nous travaillons avec les futurs citadins. Nous pouvons donc principalement essayer de concevoir pour les gens. Nous nous basons plutôt sur la conception centrée sur les personnes (ou "people-centred design") car nous visons à intégrer tous les citadins, utilisateurs et non-utilisateurs, et à prioriser les impacts systémiques (Gall et al., 2021b). Deux approches couramment utilisées sont les personas (qualitatif) et les PS (quantitatif). Nous avons pensé les utiliser conjointement (Vallet et al., 2022), notamment pour accompagner le processus

d'intégration des incertitudes sur le futur quand des personas doivent s'articuler avec ces scénarios (Gall et al., 2023).

Les *personas* constituent un modèle de conception permettant de considérer la diversité des usages et des modes de vie. Ce sont des personnages fictifs qui représentent une classe homogène d'utilisateurs. Traditionnellement, un personnage reçoit un nom, une visualisation et un récit qui fournit des informations sur les attitudes et les traits de comportement. Cela permet au personnage de prendre vie et de s'intégrer dans le processus créatif du designer (Grudin et Pruitt, 2002). Pour le futur, nous pouvons construire des personas à partir d'éléments fictifs (Vallet et al., 2020). Une approche mixte est utilisée pour faire correspondre des personnalités d'utilisateurs de mobilité à des scénarios. En contraste, les PS reflètent statistiquement une population réelle et nourrissent la simulation des systèmes de mobilité urbain. Les PS représentent les citadins d'une région, souvent regroupés en ménages, dont on modélise les chaînes d'activité au cours d'une journée. Des caractéristiques sociodémographiques sont attribuées aux individus. Il existe diverses approches pour les générer. Certaines font appel à des algorithmes d'ajustement statistique et génèrent des individus de sorte à ce que des attributs spécifiques tels que les classes d'âge ou de revenu soient distribués conformément aux distributions de référence afin de préserver l'hétérogénéité spatiale (Hörl et Balac, 2021).

3. CONCEVOIR POUR DES CITADINS FUTURS

Nous proposons une méthode pour intégrer une représentation des futurs citadins dans le processus de conception, en utilisant à la fois des modèles de conception qualitatifs et quantitatifs. Ci-dessous (Tableau 1), nous énumérons les caractéristiques pertinentes pour la conception de systèmes de mobilité urbaine qui sont communes aux approches de personas et de PS et permettent le lien entre les deux.

Tableau 1 : Variables des citadins pertinentes pour la conception de systèmes de mobilité urbaine

Catégorie	Caractéristiques	Description / Pertinence
Descriptif	Âge/Sexe	Avec chaque groupe d'âge/sexe, les options possibles changent.
	Catégorie socio-économique	Les caractéristiques socio-économiques définissent les choix/ressources.
	Modèles d'activité	Les activités sont le travail/l'école, le shopping, les loisirs et les rendez-vous et sont à la base de la mobilité en tant que besoin dérivé.
	Lieux d'activité	Les lieux des activités définissent la durée et les modes possibles.
	Moment des déplacements	Les moments varient sur une journée de 24h et peuvent avoir un impact sur les modes disponibles ou préférés.
	Caractéristiques du ménage	Les individus dans les ménages peuvent partager des véhicules, des voyages ou entraîner une augmentation de la demande.
Ressources	Véhicules disponibles	Le type/nombre de véhicules définissent les modes possibles.
	Permis de conduire	Les permis/capacités définissent les modes possibles.
	Titre de transport	Avoir un accès illimité peut définir la priorisation des modes.
Préférences	Valeur temps/argent	Différentes personnes évaluent le temps et l'argent différemment.
	Préférence pour les modes	Différentes personnes préfèrent un mode plutôt qu'un autre, par exemple en raison de valeurs écologiques.
	Disponibilité d'information	Les gens ont accès à différents niveaux d'information, donc diffèrent dans leur connaissance des itinéraires « optimaux ».
	Volonté de changer de mode	Le changement de mode (intermodalité) est perçu différemment.
	Volonté de partager	Certains sont plus disposées que d'autres à partager des modes.
Contraintes	Différentes capacités/sécurité	Certains ont une mobilité réduite ou des préoccupations de sécurité.

Pour collecter des données sur la manière dont les caractéristiques décrites ci-dessus pourraient changer dans les différents scenarios, nous avons appliqué une approche mixte, organisé six ateliers d'experts et 16 entretiens, ainsi qu'exploré la littérature académique et grise. La littérature académique a éclairé les tendances globales futures à prendre en compte, telles que les évolutions démographiques. La littérature grise, par exemple celle des autorités locales, a informé sur les profils des personas qui pourraient se développer dans certaines zones. Des entretiens avec des experts ont été menés pour recueillir des informations spécifiques auprès d'experts locaux et internationaux. Cela inclut principalement des informations qualitatives sur les évolutions possibles du développement

urbain, de la mobilité, de la technologie et des pratiques sociales susceptibles de changement. Dans les ateliers, la localisation des tendances et des incertitudes a été facilitée par la création d'un ensemble de personas prédéfinis (par exemple un nombre de quatre). L'utilisation conjointe de ces informations nous permet de faire une adaptation localisée d'un ensemble de scénarios de mobilité urbaine archétypaux préexistants dans une première étape. Ensuite, nous utilisons les scénarios localisés pour adapter les caractéristiques des futurs citadins à chacun d'eux. Par exemple, nous pouvons augmenter la population et l'âge moyen, faire varier les valeurs écologiques et le nombre de voitures par ménage. Cela nous permet de construire des personas et PS cohérents entre eux, et propres à chaque scénario futur. Cette intégration est réalisée en mettant à l'échelle et en adaptant la PS par un algorithme de mise à jour de sorte à avoir différentes occurrences de modèles et de profils d'activité en sortie de chacun des scénarios. Les paramètres qui changent sont quelques-uns des paramètres listés dans le Tableau 1. Dans le cas de la France, ces données proviennent du recensement, des enquêtes mobilité et des prévisions de l'INSEE.

4. CONCLUSION

Nous avons présenté les éléments clés d'une démarche de conception de solutions de mobilité urbaine pour les futurs citadins d'une zone géographique donnée. Nous l'appliquons pour tester l'utilité des services de mobilité urbaine partagée à Paris-Saclay et évaluer les options potentielles de transport public au Caire. Bien que des limites soient présentes, telles que la difficulté de validation due au cadrage futur, nous soutenons que l'approche présente des avantages pour rendre plus robuste la conception de solutions futures. L'association entre personas et populations synthétiques futures n'avait jusqu'à présent pas été explorée à notre connaissance. L'approche conjointe permet une projection individualisée des usages utile en conception, mais aussi agrégée à l'échelle d'une zone géographique pour la simulation. Tout en nous concentrant sur le cas de la mobilité urbaine, nous pensons que l'approche peut trouver une application dans la conception d'autres systèmes urbains, tels que les systèmes énergétiques ou le logement.

5. BIBLIOGRAPHIE

Gall, T., Vallet, F., Douzou, S. et Yannou, B. (2021a). Anticipate, Adjust, Adapt: Managing Sustainability Transitions through multiple Scenarios of Urban Mobility Futures. European Transport Conference, 13-15 septembre 2021, en ligne.

Gall, T., Vallet, F., Douzou, S. et Yannou, B. (2021b) Re-defining the boundaries of Human-Centred Design. ICED21. https://doi.org/10.1017/pds.2021.513

Gall, T., Vallet, F., et Yannou, B. (2022) How to visualise futures concepts: Revision of the futures cone. Futures 143/103024. https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103024

Gall, T., Hörl, S., Vallet, F., et Yannou, B. (2023) Integrating future trends and uncertainties in urban mobility design via data-driven personas and scenarios. À paraître.

Grudin, J. et Pruitt, J. (2002) Personas, Participatory Design and Product Development: An Infrastructure for Engagement, in Proceedings of Participation and Design Conference (PDC2002), Sweden, pp. 144-161.

Hörl, S. et Balac, M. (2021) Synthetic population and travel demand for Paris and Île-de-France based on open and publicly available data. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 130, 103291. https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103291

Miskolczi, M., Földes, D., Munkácsy, A. et Jászberényi, M. (2021) Urban mobility scenarios until the 2030s. Sustainable Cities and Society, Vol. 72/103029. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103029

Vallet, F., Puchinger, J., Milloning, A., Lamé, G. et Nicolaï, I. (2020) Tangible futures: Combining scenario thinking and personas – A pilot study on urban mobility. Futures, 117. https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102513

Vallet, F., Hörl, S. et Gall, T. (2022) Matching Synthetic Populations with Personas: A test application for urban mobility. Proceedings of the Design Society, pp. 1795-1804. https://doi.org/10.1017/pds.2022.182/

Spaniol, M. J. et Rowland, N. J. (2018) Defining scenario. Futures Foresight Science, 1:e1. https://doi.org/10.1002/ffo2.3

Représenter l'expérience des usagers dans le processus de conception d'un habitacle de véhicule pour mieux spécifier, concevoir et évaluer l'UX.

Benoît Dabouis[a,b,c], benoit.dabouis@centralesupelec.fr

Vincent Boccara[b], vincent.boccara@universite-paris-saclay.fr

& Bernard Yannou[a], bernard.yannou@centralesupelec.fr

[a] **Laboratoire Génie Industriel**, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, 3 rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France

[b] **LISN**, CNRS, Université Paris-Saclay, Bat. 508, rue John Von Neumann, 91400, Orsay, France

[c] **Style&Design Group**, 1 Rue Marie Curie, 78310 Maurepas

RÉSUMÉ

Cette communication vise à présenter un langage original de conception d'expérience utilisateur, composé d'un lexique (ensemble de descripteurs de l'UX) et d'une grammaire (règles de conception). Pour constituer ce lexique, nous proposons un métamodèle à partir de la quinzaine d'approches de l'UX identifiée dans la littérature. Celui-ci propose une vue exhaustive des descripteurs de l'UX avec un ancrage théorique minimal. On obtient ainsi un lexique structuré autour de 4 composantes décrites par 79 descripteurs répartis en 22 catégories. Il peut être utilisé pour décrire l'UX dans des activités de conception, puis, associé à des règles de conception (grammaire), pour assister ces activités. A partir d'un cas d'étude, nous déployons ce langage pour analyser cinq projets d'une agence de design, pour décrire ses activités de conception d'UX puis identifier des pistes d'amélioration. Nous évoquons ensuite la « grammaire » envisagée pour assister la conception. Enfin, nous discutons des enjeux d'introduction d'un tel langage dans l'activité de conception d'une équipe de designers, ainsi que du travail restant de validation.

MOTS-CLÉS

Expérience utilisateur, Langage, Activité de conception, Conduite du changement.

1. RÉSUMÉ ÉTENDU DE LA COMMUNICATION

Le champ de l'expérience utilisateur est en plein développement dans les mondes académiques et industriels, en attestent respectivement le nombre croissant de publications sur le sujet (Roto et al., 2021), ainsi que l'évolution de la communication des industriels, notamment des agences de design, motivant certaines entreprises à vouloir développer leur savoir-faire dans ce domaine. Dans la littérature scientifique, il existe de nombreux modèles d'expérience utilisateur (Ortiz Nicolás & Aurisicchio, 2011), ainsi que de nombreuses propositions d'outils et de méthodes pour la concevoir (e.g. Kremer et al., 2014 ; Michailidou et al., 2014). En revanche, il existe peu de travaux à notre connaissance sur la manière d'amener une équipe de concepteurs à développer son savoir-faire dans la conception d'expériences utilisateurs.

Cette communication s'intéresse plus particulièrement aux activités de conception de designers (ou plus généralement de concepteurs) et à la manière de les améliorer en termes de conception d'UX. La figure 1 synthétise graphiquement les principaux éléments de cette communication. En noir, on retrouve la littérature explorée, en bleu, les apports proposés et en rouge les expérimentations prévues pour valider ces apports.

La littérature scientifique propose plusieurs points de vue sur la conception. L'ergonomie, à travers les théories de l'activité, s'intéresse aux activités des concepteurs, à leur fonctionnement et aux manières possible de les assister. Ces activités sont décrites comme essentiellement cognitives, distribuées entre plusieurs acteurs, collectives et créatrices de représentations externes. La conception peut également être vue comme un dialogue entre les concepteurs et l'utilisateur final (Béguin, 2013). Dialogue avec l'utilisateur à travers les artefacts conçus, mais également entre les concepteurs durant la conception. Le génie industriel, d'un autre côté, s'intéresse à la manière d'organiser et d'outiller ces activités pour structurer la conception de manière à favoriser l'obtention des meilleurs résultats possibles (Pourcel et al., 2015). La conception est notamment décrite à travers des processus de conception comme une succession de tâches et de phases recommandées, accompagnées d'outils adaptés (Michailidou et al., 2014; Motte et al., 2011).

Notre approche se situe à l'interface entre ces deux domaines. Considérant la conception comme un processus dialogique entre plusieurs acteurs, nous proposons un langage d'UX pour outiller les concepteurs en leur donnant les moyens de comprendre l'utilisateur et de dialoguer entre eux et avec lui à travers la conception de conditions favorables à l'émergence d'un ensemble d'UX souhaitable. Ce langage se compose d'un lexique d'UX permettant de décrire une UX, et d'une grammaire comprenant un ensemble de règles et recommandations pour structurer la conception de l'UX en la spécifiant, l'imaginant et l'évaluant.

Pour construire ce lexique, nous avons identifié dans la littérature une quinzaine de modèles dans trois ancrages théoriques (théories de l'activité, pragmatisme et HCI – Human Computer Interaction) proposant différents points de vue et descripteurs de l'expérience utilisateur. L'analyse de ces modèles montre quatre composantes récurrentes de l'UX (l'humain, le produit, le contexte et la relation humain-produit), chaque composante étant décrite par des descripteurs variant selon les modèles. L'enjeu n'étant pas de prendre position sur une conceptualisation de l'UX plutôt qu'une autre, mais de fournir un lexique permettant de décrire l'UX indépendamment de la position conceptuelle des concepteurs, nous proposons de construire ce que l'on appelle un « métamodèle » qui doit permettre d'englober cette quinzaine d'approches. Ce métamodèle constituera notre lexique.

Pour ce faire, nous listons les principales caractéristiques des quatre composantes proposées par les modèles identifiés afin de les comparer. Nous sélectionnons ensuite le modèle le plus exhaustif et détaillé, afin de construire le lexique le plus complet et précis possible des descripteurs de l'UX.

Ce modèle proposé par Bongard (2013) est issu d'une revue de littérature en psychologie sur le fonctionnement humain lors d'une interaction située avec un produit. L'humain est présenté comme un « système de traitement de l'information », avec une entrée (les « capteurs »), un traitement (cognition et affect), et une sortie (« réponses »). On retiendra de ce modèle la structure descriptive des différents éléments proposés (capteurs, cognition et affect, réponses) en descripteurs permettant de décrire finement une expérience utilisateur. Dimensions que l'on retrouve par ailleurs dans une liste proposée par Bongard (2013), et adjointe au modèle. Bien que proposant la meilleure couverture des caractéristiques de l'UX extraites de la littérature, ce modèle présente deux limitations. 1) Il mobilise une conceptualisation de l'humain comme un système de traitement de l'information qui est incompatible avec certaines approches, notamment celles ancrées dans les théories de l'activité ; 2) Il lui manque plusieurs caractéristiques de l'UX identifiées dans la littérature.

Nous avons donc réalisé quelques ajustements sur ce modèle. Dans un premier temps, nous avons ajouté plusieurs éléments. Pour la composante « sujet », nous étendons à plusieurs utilisateurs les possibilités d'actions entres eux et un produit dans un contexte défini. Pour la composante « produit », nous étendons les possibilités d'actions de l'utilisateur à un produit ou un système (de

produits, services, …). Pour la composante « relation humain-produit » nous étendons la notion de temporalité de l'interaction aux six phases de l'UX (avant, pendant, après interaction, usage répétitif, évaluation rétrospective et prospection) proposées par Pohlmeyer et al. (2009), accompagnées de la notion de première impression issue du niveau « viscéral » du modèle de Norman (2004). Enfin, pour la composante « contexte », nous mettons en lumière le « contexte de marché » et ajoutons la catégorie « contexte historique » (en référence notamment à Rabardel, 1995). Dans un second temps, nous avons reformulé un ensemble de termes pour que notre métamodèle ne soit pas marqué par une sémantique relative à une approche de l'humain comme un système de traitement de l'information (e.g. capteurs et réponses). Ainsi, les termes « capteurs » et « réponses » sont renommés en « Système perceptuel » et « Actions » qui sont selon nous plus accueillant pour les différents ancrages théoriques que nous avons repérés dans la littérature.

A l'issue de ce travail d'élaboration, nous obtenons un lexique structuré autour de quatre composantes décrites par 79 descripteurs, organisés en 22 catégories. Chaque descripteur comporte une définition et un exemple. Ce lexique peut se lire selon trois niveaux de description (voir Figure 1, partie gauche) : 1) un niveau « macro », avec les quatre composantes en interaction, 2) un niveau « méso », découpant ces composantes en 22 catégories, 3) un niveau « micro », présentant l'ensemble des descripteurs pour chaque catégorie de chaque composante. Par exemple, la composante « contexte » est décrite par les catégories « situationnelle », « culturelle », « sociale », « de marché », et « historique ». Dans la catégorie « culturelle », on retrouve les descripteurs « clichés », « tendances » et « réglementations ». On obtient ainsi un lexique d'expérience utilisateur constituant la base de notre langage.

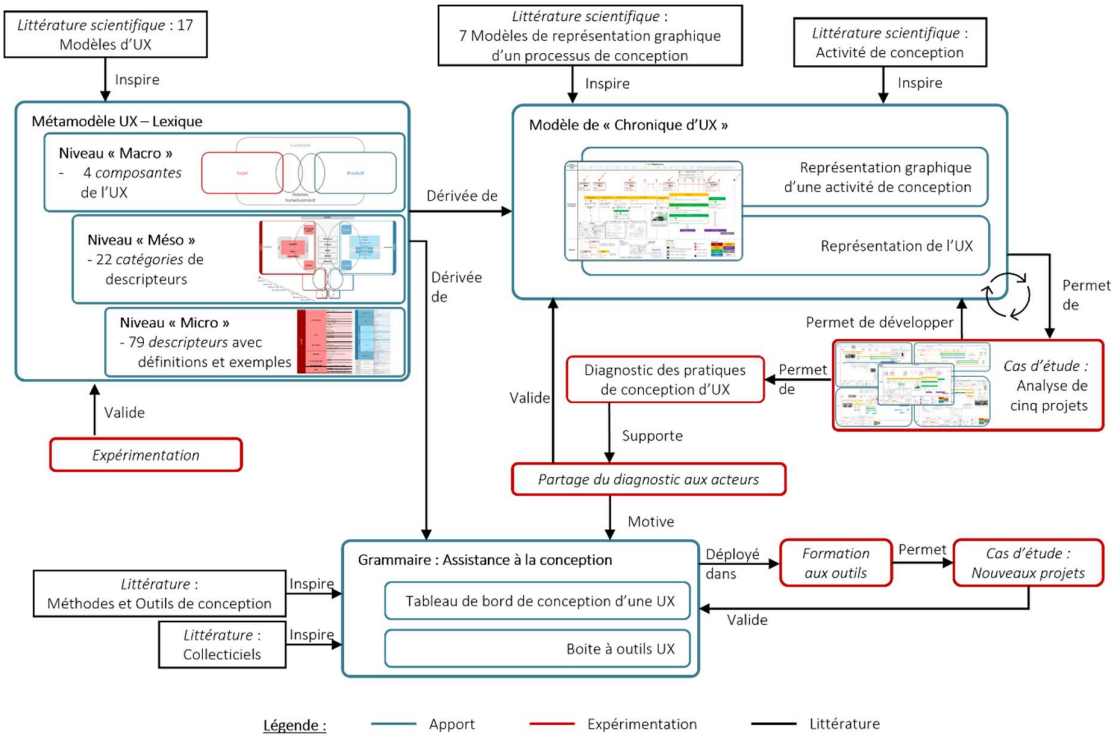


Figure 3 : Synthèse graphique des éléments de la communication

Pour développer le savoir-faire d'une équipe de designers en conception d'UX, nous souhaitons déployer ce langage dans deux modes.

Le premier mode est descriptif (voir Figure 1, partie droite). A travers un modèle de représentation graphique des tâches effectives d'un processus de conception enrichi du lexique proposé, il est possible de décrire la place de l'UX dans une activité de conception. Nous proposons pour ce faire un modèle de « chroniques d'UX », inspiré notamment du formalisme « swimlane » (Rummler & Brache, 1995). Nous l'avons déployé pour analyser cinq projets dans une agence de design de transports souhaitant développer son savoir-faire en conception d'UX. Les chroniques d'UX obtenues ont permis de caractériser une faible prise en compte de l'UX, un usage variable des descripteurs du lexique selon les projets, et un manque de spécification et d'évaluation. Ces résultats ont ensuite permis de formuler des pistes d'améliorations et d'objectiver la nécessité de partager un langage et un processus commun de construction de l'UX.

Le second mode est « prescriptif » (voir Figure 1, partie basse). Nous proposons de systématiser la prise en compte de l'UX en complétant notre langage d'une assistance à la conception (grammaire) pour accompagner le lexique. Composé du métamodèle proposé, accompagné d'outils et de recommandations de conception adaptées, ce langage permettrait de mieux structurer les activités des concepteurs autour de l'UX. Un tel langage fournirait le vocabulaire nécessaire pour expliciter leurs propositions d'UX, tandis que les recommandations assisteraient le processus d'élaboration de l'UX.

Le développement d'une telle méthode présente plusieurs enjeux : un enjeu de formation des concepteurs et un enjeu d'outillage spécifique. Un enjeu de formation, car les designers ne sont pas habitués à l'utilisation d'un tel langage. Il est donc nécessaire de mettre en place une méthode d'introduction et de formation à ce langage, pour s'assurer qu'ils le comprennent, le partagent, acceptent de l'utiliser, et possiblement l'améliorent si besoin. Un enjeu d'outillage, car ce langage est complexe en taille (4 composantes, 22 catégories, 79 descripteurs) et en contenu scientifique. Il y a donc une nécessité de proposer des outils accessibles et adaptés à l'activité des concepteurs, modulables en fonction de la typologie et des enjeux du projet de conception, afin de maximiser les chances d'adoption du langage. A terme, l'objectif est de proposer un langage (lexique et grammaire) associé à un outil d'assistance à la conception (par exemple une plateforme collaborative de gestion de projet) pour mieux concevoir l'UX.

Plusieurs étapes sont nécessaires pour parvenir à cet objectif. Premièrement, un travail de validation est nécessaire. Le lexique doit être validé auprès de concepteurs pour vérifier que celui-ci est bien compréhensible et qu'il parle aux concepteurs. Le modèle de « chroniques d'UX » doit être validé en termes de compréhensibilité du formalisme, de véracité des données représentées, ainsi qu'en terme de capacité à créer une représentation partagée du diagnostic parmi les acteurs. Enfin, la grammaire reste à définir, ainsi que l'outil d'assistance évoqué. Une fois définis, des expérimentations devront être mises en place pour avérer leurs apports aux activités de conception d'UX (e.g. descriptions d'UX plus riches, conception plus structurée, acceptabilité chez les concepteurs, etc.).

2. BIBLIOGRAPHIE

Béguin, P. (2013). La conception des instruments comme processus dialogique d'apprentissages mutuels. In P. Falzon, *Ergonomie constructive* (p. 147). Presses Universitaires de France. https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2013.01.0147

Bongard, K. (2013). *Bringing the user experience to early product conception : From idea generation to idea evaluation* [These de doctorat, Paris, ENSAM]. https://www.theses.fr/2013ENAM0068

Kremer, S., Michailidou, I., Von Saucken, C., & Lindemann, U. (2014). User experience milestones : Structuring the development of experience products. In A. Marcus (Éd.), *Design, User Experience, and Usability. User Experience Design Practice* (Vol. 8520, p. 308-318). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07638-6_30

Michailidou, I., von Saucken, C., Kremer, S., & Lindemann, U. (2014). A user experience design toolkit. In A. Marcus (Éd.), *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience* (p. 163-172). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_17

Motte, D., Bjärnemo, R., & Yannou, B. (2011). On the interaction between the engineering design and the development process models—Part I: Elaborations on the generally accepted process models. *International Conference on Research into Design (ICoRD'11)*, Bangalore, India, 10-12.01.2011.

Ortiz, N., Juan, C., & Aurisicchio, M. (2011). The scenario of user experience. DS 68-7: *18th International Conference on Engineering Design (ICED 11)*, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08.2011, 182-193.

Pourcel, C., Deniaud, I. F., Marmier, F., & Gourc, D. (2015). Réflexions sur le Génie Industriel & l'Ingénierie Système. *11e Congrès International de Génie Industriel (CIGI2015)*, Québec, Canada, 26-28.10.2015.

Roto, V., Bragge, J., Lu, Y., & Pacauskas, D. (2021). Mapping experience research across disciplines: Who, where, when. *Quality and User Experience*, 6(1), 7. https://doi.org/10.1007/s41233-021-00047-4

Rummler, G. A., & Brache, A. P. (1995). *Improving performance: How to manage the white space on the organization chart* (2nd ed). Jossey-Bass.

La méthode Representation-Usage-Impact pour mieux caractériser les impacts sociaux des véhicules autonomes.

Robin Lecomte, Bernard Yannou & Roland Cahen

CentraleSupélec, ENSCi les Ateliers, Stellantis robin.lecomte@centralesupelec.fr

CentraleSupélec bernard.yannou@centralesupelec.fr

ENSCi les Ateliers roland.cahen@ensci.com

RÉSUMÉ

Certains systèmes comme le véhicule autonome ont la particularité d'être encore très prospectifs (déploiement massif dans plusieurs décennies) tout en étant susceptibles de créer une rupture profonde des usages. A long terme, cela pourrait conduire à des impacts sociaux catastrophiques. Il est alors de la responsabilité des personnes travaillant sur ce type de système d'essayer d'anticiper ces impacts dès aujourd'hui. Or, la dimension hautement prospective rend la plupart des méthodes d'évaluation d'impacts inefficaces. Nous proposons ici une méthode originale appelée Représentation-Usage-Impact (RUI) qui permet (1) d'extraire des usages inédits du véhicule autonome à partir de représentations diverses et (2) de caractériser les impacts sociaux que ces usages pourraient engendrer en faisant intervenir des experts comme des sociologues ou des psycho-ergonomes.

MOTS-CLÉS

Impacts sociaux, véhicule autonome, conception, disruptif, long-terme

1. INTRODUCTION

Lorsqu'un produit est susceptible de bouleverser les usages, il est dans l'intérêt des entreprises d'essayer d'anticiper ses impacts sociaux le plus tôt possible afin d'éviter des conséquences indésirables irréversibles (par exemple la dégradation significative de l'état de santé d'une population). Lorsqu'on essaie d'anticiper les impacts d'un produit qui sera déployé dans plusieurs décennies, le haut niveau d'incertitude empêche d'anticiper les phénomènes sociaux avec précision. Le véhicule autonome en est un exemple : De nombreux spécialistes estiment qu'il envahira nos routes dans plusieurs années (Townsend, 2020), mais on ne sait pas quand, ni comment, ni pourquoi, ni par qui, ni pour qui. Ce qui est clair, c'est que ses conséquences sociales doivent être sérieusement anticipées dès maintenant. C'est pourquoi nous nous sommes posé la question de comment caractériser les impacts sociaux d'un produit disruptif qui n'existait pas encore. Nous nous sommes concentrés exclusivement sur les impacts sociaux comme les définit Burdge (2015) : "L'influence d'un produit sur la qualité de vie quotidienne des personnes" (traduit de l'anglais) à plusieurs échelles : les individus, les groupes et les populations (approche multi-acteurs).

Au sein de la littérature, nous avons identifié deux familles de méthodes permettant d'évaluer des impacts sociaux. La première s'inscrit dans le domaine des sciences du design : Il s'agit des méthodes d'évaluation produit. Ces dernières permettent notamment d'évaluer les performances d'un produit auprès des utilisateurs. On y distingue les analogies, les groupes de discussion, l'évaluation heuristique, les tests d'utilisabilité ou encore les modèles multi-attributs (Davis, 1985; Dumas et al., 1999; Green & Srinivasan, 1990; McQuarrie & McIntyre, 1986; Nielsen & Molich, 1990). Ces méthodes sont souvent limitées à des évaluations à court terme telles que le confort, l'ergonomie ou l'expérience utilisateur. La deuxième famille concerne des méthodes d'évaluation d'impacts sociaux liés à des actions à grande

échelle comme le déploiement de mesures politiques ou de nouvelles technologies (au-delà du simple produit). En particulier, le *social impact assessment* (SIA) (Becker, 2001; Vanclay, 2003) et le *technology assessment* (TA) (Arnstein, 1977; Banta, 2009; Coates, 1974) permettent d'identifier des conséquences sociales à moyen ou long terme. Ces méthodes nécessitent que les actions (les mesures ou les technologies) soient bien définies et que la population ciblée soit connue. Ainsi, aucune de ces deux familles de méthode ne semble adaptée à un produit hautement disruptif comme le véhicule autonome dont les caractéristiques et les usagers ne sont pas encore bien connus.

2. LA METHODE RUI

2.1. Cas d'étude : Le véhicule autonome

Dans toute cette étude, nous avons travaillé sur le véhicule autonome (VA). Nous le considérons comme un véhicule pouvant transporter des passagers et se conduire lui-même sans intervention humaine. Quatre conditions ont été ajoutées à cette définition : (1) le véhicule est conçu pour transporter principalement des passagers, (2) il compte de 1 à 9 sièges, (3) son niveau d'automatisation est de 4 ou plus sur l'échelle SAE (SAE International, 2021), (4) il évolue dans un pays développé (Indice de Développement Humain élevé). L'horizon temporel de déploiement a été fixé à titre indicatif en 2050.

2.2. Principe général de la méthode

Pour pallier aux limitations des méthodes évoquées dans l'introduction, notre hypothèse est que la meilleure façon d'obtenir des informations sur les impacts sociaux probables d'un produit comportant autant d'incertitudes est de faire appel à des experts familiers avec les impacts sociaux (e.g. des sociologues). Cela nous a conduit à développer une méthode originale permettant de stimuler des experts à imaginer des impacts à l'aide de leurs connaissances sur des phénomènes passés. Sa finalité est d'aider les concepteurs à faire de bons choix lors de la conception de produits futurs. La méthode s'appelle : *Representation-Usage-Impact* (RUI). Elle tire son nom de la manière dont les connaissances sont stockées : en trois bases de données liées entre elles (voir figure 1).

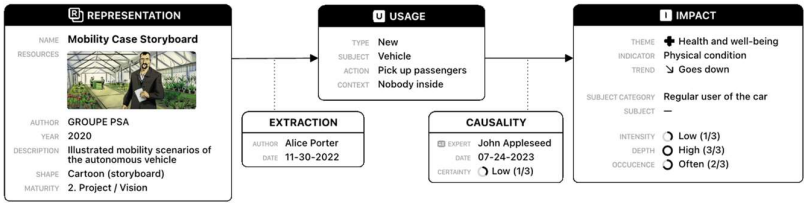


Figure 1 : Les trois bases de données de la méthode RUI avec des exemples.

Un usage se définit par « [la] destination, fonction de quelque chose, [et l'] emploi qu'on peut en faire » (dictionnaire Larousse, sens 3). La base de données *Usage* permet de les répertorier. Leur fonction est de stimuler les experts pour les aider à imaginer les impacts futurs du VA. Chaque usage est caractérisé par un sujet (par exemple, le passager), une action unique, un contexte (par exemple : « il n'y a personne à l'intérieur du véhicule ») et son caractère inédit ou non. Les usages sont extraits à partir de représentations existantes du véhicule autonome (voir figure 1 – *USAGE* et section 2.3).

La base de données *Representation* permet de stocker, trier, exploiter et tracer les représentations existantes des VA. Une représentation est une catégorie générale qui englobe tous les types d'artefacts, physiques ou virtuels (Boujut & Laureillard, 2002). L'exploitation de nombreuses représentations de natures et d'origines différentes comme matériau d'entrée pour notre méthode nous a semblé être un bon moyen d'assurer une grande diversité d'usages. Cela permet également d'éviter les biais que nous aurions introduits si les usages étaient issus de notre imagination (voir figure 1 – *REPRESENTATION* et figure 2).

Un impact social est l'influence d'un produit sur la qualité de vie quotidienne des personnes (Burdge, 2015). La méthode permet uniquement de prendre en compte les impacts générés pendant

la phase d'utilisation du produit (eg. on ne prend pas en compte la fabrication ou le recyclage). Les impacts liés aux perceptions directes des utilisateurs, (eg. mal des transports ou manque de confort) ne sont pas non plus considérés. Dans notre méthode, chaque impact est engendré par un usage et est imaginé par un expert (voir figure 1 – *IMPACT* et section 2.3). Chaque impact appartient également à un thème d'impact social et est décrit à l'aide de plusieurs attributs (voir figure 2).

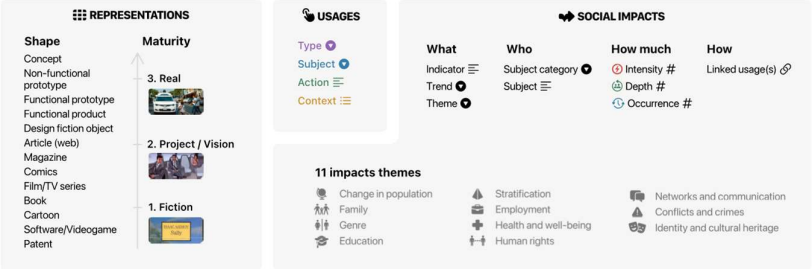


Figure 2. Quelques exemples d'attributs utilisés dans la méthode RUI pour décrire les représentations, usages et impacts.

2.3. Alimentation des bases de données

L'ajout de représentations est très simple, il suffit d'identifier une représentation du véhicule autonome tel que défini dans la section 2.1, et de la renseigner dans la base de données en complétant 7 attributs (voir figure 1 – *REPRESENTATION* et figure 2).

Comme le véhicule autonome évoluera dans le futur, ses usages ne sont pas encore connus. L'une des originalités de la méthode RUI est alors de tirer ces usages des représentations existantes. Pour extraire et codifier un nouvel usage à partir d'une représentation, il est important de respecter deux étapes : Identifier un usage potentiel, puis vérifier sa correspondance aux quatre conditions de la section 2.1. Nous assurons la traçabilité des données en référençant systématiquement la personne qui a extrait l'usage ainsi que la date (voir figure 1 – *EXTRACTION*).

L'ajout d'impacts s'effectue en interrogeant des experts de la mobilité, de l'éducation, des territoires, de la géographie, de l'urbanisme, des modes de vie et/ou des pratiques sociales. Les experts avec une vision systémique des impacts sociaux (eg. qui font de l'*impact assessment* ou du *social-life-cycle-analysis* – United Nations Economic Commission for Europe, 2017) sont également concernés. Pour assurer la traçabilité des impacts, nous avons ajouté (1) l'identification de l'expert et de son domaine d'expertise, (2) la date de création de l'impact, et (3) l'auto-évaluation du niveau de confiance de l'expert. L'ajout d'impacts est séparé en deux phases : La phase 1 se présente sous la forme d'un questionnaire en ligne, où une série d'usages est présentée à l'expert ; la phase 2 consiste à coder les impacts dans les bases de données à partir des réponses de l'expert (voir figure 1 – *CAUSALITY*).

2.4. Utilisation dans un cadre de conception

La finalité de la méthode est de permettre à des concepteurs d'accéder aux connaissances sur les impacts probables du véhicule autonome. C'est pourquoi nous avons développé deux modes d'utilisation. Le premier mode, appelé mode causal, permet de sélectionner des usages et de voir une liste d'impacts potentiels qui peuvent en résulter. Un concepteur pourrait par exemple sélectionner des usages liés à un concept inédit du VA pour obtenir une approximation de ses impacts probables. Le second mode, appelé mode inversé, permet de sélectionner des impacts et d'obtenir la liste d'usages qui peuvent les provoquer.

Pour donner un exemple, nous avons sélectionné les usages « le véhicule va chercher le passager tout seul » et « le véhicule va chercher un objet et le livre tout seul". Le mode d'interrogation causal de la méthode nous a indiqué 12 impacts probables, parmi lesquels : « la diminution du nombre d'employés dans le secteur de la livraison », « la diminution des déplacements actifs » ou

« l'augmentation des vols d'objets dans les véhicules ». Des métriques complémentaires (non détaillées ici) comme l'intensité moyenne ont également été calculées pour chacun de ces impacts.

3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Concernant notre question initiale sur la manière de caractériser les impacts sociaux probables d'un produit qui n'existe pas encore, nous pensons que notre proposition, la méthode RUI, pourrait fournir des résultats pertinents et combler certaines lacunes des méthodes existantes d'évaluation produit et d'impact assessment. La méthode n'a pas encore été testée, mais elle a été évaluée par plusieurs sociologues – au nombre de 9 – dont les commentaires ont été encourageants. Nous prévoyons de l'exploiter pour développer des outils industriels que nous testerons en conditions réelles au sein du groupe automobile Stellantis.

4. BIBLIOGRAPHIE

Arnstein, S. R. (1977). Technology Assessment: Opportunities and Obstacles. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *7*(8), 571–582. https://doi.org/10.1109/TSMC.1977.4309782

Banta, D. (2009). What is technology assessment? *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, *25*(S1), 7–9. https://doi.org/10.1017/S0266462309090333

Becker, H. A. (2001). Social impact assessment. *European Journal of Operational Research*, *128*(2), 311–321. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00074-6

Boujut, J.-F., & Laureillard, P. (2002). A co-operation framework for product–process integration in engineering design. *Design Studies*, *23*(6), 497–513. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00044-8

Burdge, R. J. (2015). *A Community Guide to Social Impact Assessment*. Society and Natural Resources Press. https://upcolorado.com/university-press-of-colorado/item/3393-a-community-guide-to-social-impact-assessment

Coates, J. F. (1974). Technology Assessment: The Benefits ... The Costs ... The Consequences. *IEEE Engineering Management Review*, *2*(2), 41–47. https://doi.org/10.1109/EMR.1974.4306353

Davis, R. (1985). Product Policy: Concepts, Methods, and Strategy, By Y. J. Wind2. *Journal of Product Innovation Management*, *2*(1), 67–69. https://doi.org/10.1111/1540-5885.2100663

Dumas, J. S., Dumas, J. S., & Redish, J. (1999). *A Practical Guide to Usability Testing*. Intellect Books.

Green, P. E., & Srinivasan, V. (1990). Conjoint Analysis in Marketing: New Developments with Implications for Research and Practice. *Journal of Marketing*, *54*(4), 3–19. https://doi.org/10.1177/002224299005400402

McQuarrie, E. F., & McIntyre, S. H. (1986). Focus Groups and the Development of New Products by Technologically Driven Companies: Some Guidelines. *Journal of Product Innovation Management*, *3*(1), 40–47. https://doi.org/10.1111/1540-5885.310040

Nielsen, J., & Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 249–256. https://doi.org/10.1145/97243.97281

SAE International. (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles—J3016_202104*.

Townsend, A. M. (2020). *Ghost road: Beyond the driverless car* (First edition). W. W. Norton & Company, Inc.

United Nations Economic Commission for Europe. (2017). *Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3), Revision 6*.

Vanclay, F. (2003). International Principles For Social Impact Assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, *21*(1), 5–12. https://doi.org/10.3152/147154603781766491

Comment simuler en tout-automatique la sécurité des véhicules autonomes (VA) alors qu'il est impossible de faire l'apprentissage des situations accidentogènes des VAs ?

Zhenguo CUI

Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec, France, zhenguo.cui@centralesupelec.fr

Bernard YANNOU

Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec, France, bernard.yannou@centralesupelec.fr

Adam ABDIN

Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec, France, adam.abdin@centralesupelec.fr

& Svetlana DICHEVA

Alten Labs, France, svetlana.dicheva@alten.com

RÉSUMÉ

Le véhicule autonome (VA) a pour objectif d'éliminer les erreurs humaines connues qui amènent à des situations accidentogènes. Durant la période de 2014 à 2018, deux tiers des accidents des VAs expérimentés déployés en Californie ont eu lieu lorsque le mode « conduite autonome » a été activé. Donc il est impératif de tester et valider les VAs dans des situations accidentogènes en toute sécurité.

L'objectif de cette étude est d'intégrer l'expertise et les données d'accidentologie pour générer des scénarios de test afin d'améliorer la sécurité des véhicules autonomes (VAs) dans un environnement virtuel.

MOTS-CLÉS

Véhicule Autonome, Génération des Scénarios, Simulation, Scénarios Accidentogènes, Données des accidents

1. INTRODUCTION

Le véhicule autonome (VA) ouvre une nouvelle ère dans la mobilité. La conduite autonome a pour objectif d'éliminer les erreurs humaines connues qui amènent à des situations accidentogènes. De ce fait, il est important de tester les systèmes d'aide à la conduite ou de conduite autonome dans des situations variées pour s'assurer du fonctionnement en toute sécurité des VAs. Cela demande la variété et l'exhaustivité des situations de conduite de test.

Dans l'industrie automobile, il est commun d'utiliser des méthodes statistiques pour déterminer la variété des scénarios et leur distribution. Ainsi, les scénarios peuvent être classés en trois familles (Fig.1) : scénarios typiques et fréquents, scénarios critiques et rares, et les scénarios accidentogènes. Lorsqu'un scénario est suffisamment complexe qui contient de multiples interactions entre les usagers routiers, moins il se produira dans le trafic réel.

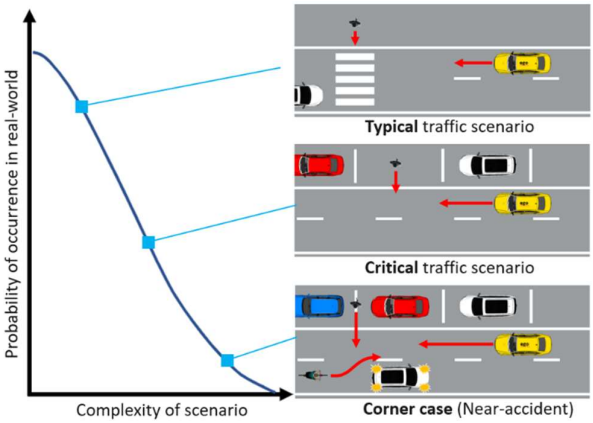


Figure 1 : Les types et caractéristiques de scénarios (Source : Conférence ICV2019, OICA, Oliver Fontaine)

Selon une étude de Wang et al. (2020), durant la période de 2014 à 2018, deux tiers des accidents des véhicules expérimentés déployés en Californie ont eu lieu lorsque le mode « conduite autonome » a été activé. Pour garantir l'exhaustivité des situations rencontrées par les VAs, il est impératif de les tester et les valider également dans des situations accidentogènes.

Les systèmes ADAS/AD peuvent être validés à travers des essais physiques : soit dans un circuit d'essai fermé où les conditions de test sont strictement contrôlées ; soit dans une zone ouverte et autorisée pour les tests des voitures autonomes, comme l'étude réalisée en Californie et cité précédemment. Mais ce type de test nécessite des dizaines de milliards de kilomètres du roulage pour prouver qu'un système de conduite autonome est sûr et fiable (Kalra & Paddock, 2016 ; Wachenfeld & Winner, 2016). Et même, avec un tel nombre de tests, cela ne garantirait pas l'exhaustivité des situations de conduite. De plus, ces tests physiques sont très coûteux car ils impliquent des ressources comme des véhicules équipés et du personnel formé pour effectuer tous les tests nécessaires. Surtout, faire rouler une voiture qui n'est pas encore validé sur la voie publique, pourrait mettre en danger les autres usagers routiers. Ceci explique pourquoi de plus en plus des constructeurs automobiles et équipementiers s'intéressent à la simulation virtuelle pour tester et valider les systèmes d'aide à la conduite et de conduite autonome.

L'usage de simulation permet de tester les VAs dans des scénarios accidentogène qui sont difficiles et très dangereux à reproduire dans le monde réel. A travers de la simulation, l'évaluation de la performance des systèmes ADAS/AD est aussi réalisée aussi dans un environnement contrôlé, mais sans mettre en danger les usagers routiers.

Il se trouve également difficile de reproduire les scénarios accidentogènes dans un environnement virtuel. Cela exige la modélisation des accidents basés sur l'expertise et les données réelles. Les bases des données contenant des accidents ont des limites. Les données peuvent être biaisées ou non-représentatives. Elles s'avèrent incomplètes et peuvent rendre la reconstruction des accidents difficiles. De plus, chaque accident est unique, avec ses propres caractéristiques et particularités.

L'objectif de nos travaux est d'étudier les contraintes liées à la génération des scénarios accidentogènes alimentés par des données réelles. Il existe des défis importants pour cette étude : le traitement des informations disponibles liées aux accidents et la modélisation des éléments nécessaires pour générer un scénario : des conditions environnementales, des usagers dynamiques et des objets statiques, des interactions entre ces entités, et de divers événements. Tous ces éléments descriptifs sont nécessaires afin de reconstruire une situation potentiellement dangereuse. Il est important d'identifier les accidents qui sont reproductibles pour la simulation de conduite.

2. METHODOLOGIE

Cette étude s'intéresse à la génération des scénarios accidentogènes afin d'évaluer la performance des systèmes d'aide à la conduite (ADAS) ou de conduite autonome (AD) dans un environnement virtuel. Notre approche s'appuie sur l'analyse des données pour reproduire des scénarios de conduite accidentogènes. Dans notre démarche, nous analysons à la fois des accidents enregistrés qui impliquent des conducteurs humains et aussi des accidents signalés survenant lorsque le mode de « conduite autonome » ou de « conduite assistée » a été activé.

Il y a les deux différentes bases de données étudiées dans cette étude, notamment sur la base CISS (Crash Investigation Sampling System, 2018) et les données des accidents collectées après le Grand Ordre de l'agence NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, 2022). Le CISS recueille des données détaillées sur les accidents de véhicules motorisés et les blessures qui en découlent. La base a collecté des accidents représentatifs aux Etats-Unis depuis 2016. Les données enregistrées selon le Grand Ordre de l'agence NHTSA, sont des rapports d'accidents signalés par des constructeurs automobiles, impliquant des véhicules équipés de systèmes ADAS/AD. Les données de deux bases contiennent des attributs qui décrivent la nature de l'accident : la date, l'heure, l'emplacement, les conditions météorologiques, les véhicules, les actions des conducteurs, les dommages subis par les véhicules et les passagers, etc.

L'extraction des informations de l'accident est basée sur l'analyse statistique et exploratoire sur des données. Il est très important de comprendre les facteurs qui augmentent le risque d'accident et qui identifient les paramètres clés (Esenturk et al., 2021). Cela peut inclure les variables les plus susceptibles d'avoir un impact sur l'accident et la cohérence entre ces variables.

Le traitement du texte en langage naturel sur la description de l'accident joue un rôle majeur. La description de l'accident est l'attribut le plus important dans les données, expliquant les informations non standardisées de l'accident, y compris les manœuvres du véhicule impliqué, ainsi que les facteurs opérationnels liés à la circulation (par exemple, le fonctionnement des feux de signalisation et la configuration des voies), etc. Le plus grand avantage de cette description est que toutes les informations qui ne sont pas entièrement expliquées, peuvent être décrites en complément, ce qui permet de mieux comprendre l'accident.

Les résultats de l'extraction sont utilisés pour comprendre les accidents peuvent être associés aux scénarios, notamment sur des informations de l'accident : sur les circonstances de l'accident, telles que le type du lieu, l'heure, le type d'accident, les détails du véhicule et du conducteur (par exemple, type de véhicule, emplacement de l'impact sur le véhicule), les détails de l'emplacement (par exemple, conditions météorologiques, type de route et voie), les événements (par exemple, facteurs humains, dysfonctionnement du véhicule et obstacles sur la route).

L'analyse des deux bases de données contribue à la construction d'une base de connaissances, une représentation de connaissances sur les scénarios accidentogènes. La base est adaptée au modèle de 6 couches proposé par Sauerbier et al. (Sauerbier, 2019) pour la modélisation des éléments de scénario. Cela implique de décomposer les éléments de l'accident et de les transformer dans les cinq premières couches de la structure : ils incluent la topologie du réseau de la route, l'infrastructure comme les signaux de circulations, les événements temporaires, les véhicules impliques, une série d'actions et de conditions, les conditions environnementales. La base de connaissances prend en compte l'ensemble des éléments appris sur les accidents analysés, inclut une variation importante des éléments et des variables, afin de créer des scénarios accidentogènes.

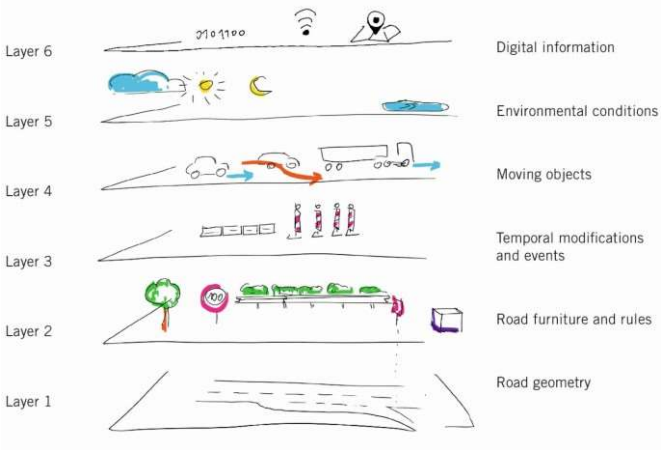


Figure 2 : e modèle de 6 couches pour la modélisation de scénario (Sauerbier, 2019)

3. DISCUSSION

Le but de cette étude en cours est d'évaluer l'impact des données d'accidents sur la génération des scénarios de conduite. L'étude génère une formalisation de connaissance qui est alimentée par les vraies données d'accidents pour modéliser les scénarios de validation des VAs. Il s'agit d'étudier la modélisation des accidents des conducteurs humains et des VAs dans un modèle généralisé à travers des données diverses.

4. BIBLIOGRAPHIE

Crash investigation sampling system. (2018). *https://www.nhtsa.gov/crash-data-systems/crash-investigation-sampling-system*

Esenturk, E., Khastgir, S., Wallace, A., & Jennings, P. (2021, July). Analyzing real-world accidents for test scenario generation for automated vehicles. In *2021 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 288-295). IEEE.

Hankey, J. M., Wierwille, W. W., Cannell, W. J., Kieliszewski, C. A., Medina, A., Dingus, T. A., & Cooper, L. M. (1999). Identification and evaluation of driver errors: Task c report, driver error taxonomy development. *Project no. Dtfh-61-97-c-00051. Virginia Tech Transportation Institute, Blacksburg, VA*.

Kalra, N., & Paddock, S. M. (2016). Driving to safety: How many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *94*, 182-193.

Sauerbier, J., Bock, J., Weber, H., & Eckstein, L. (2019). Definition of Scenarios for Safety Validation of Automated Driving Functions. ATZ Worldwide, 121(1), 42–45.

Scholtes, M., Westhofen, L., Turner, L. R., Lotto, K., Schuldes, M., Weber, H., Wagener, N., Neurohr, C., Bollmann, M. H., Körtke, F., Hiller, J., Hoss, M., Bock, J., & Eckstein, L. (2021). 6-Layer Model for a Structured Description and Categorization of Urban Traffic and Environment. IEEE Access, 9, 59131–59147.

National Highway Traffic Safety Administration. (2022). Standing general order on crash reporting., from *https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/standing-general-order-crash-reporting*.

Rabbani, M. B. A., Musarat, M. A., Alaloul, W. S., Ayub, S., Bukhari, H., & Altaf, M. (2022). Road Accident Data Collection Systems in Developing and Developed Countries: A Review. *International Journal of Integrated Engineering*, *14*(1), 336-352.

Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., Zhao, J., & Bella, F. (2020). Safety of autonomous vehicles. *Journal of advanced transportation*, *2020*, 1-13.

Wachenfeld, W., & Winner, H. (2016). The release of autonomous vehicles. *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*, 425-449.

Westhofen, L., Neurohr, C., Koopmann, T., Butz, M., Schütt, B., Utesch, F., ... & Böde, E. (2023). Criticality metrics for automated driving: A review and suitability analysis of the state of the art. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *30*(1), 1-35.

ÉPIQUE 2023 : Symposium 106

Les environnements virtuels sont-ils valides pour l'étude du comportement humain ?

Organisateur(s)

Sami Mecheri, Institut de Recherche Biomédicale des Armées
Unité d'Ergonomie Cognitive des Situations Opérationnelles (ECSO)
1 Place du Général Valérie André, Brétigny-sur-Orge, France
sami.mecheri@def.gouv.fr

&

Régis Lobjois, Université Gustave Eiffel
Laboratoire Perceptions, Interactions, Comportements & Simulations (PICS-L)
14-20 Boulevard Newton, Champs-sur-Marne, France
regis.lobjois@univ-eiffel.fr

OBJECTIFS

La réalité virtuelle, telle que définie dans le traité qui lui a été consacré (Fuchs & Moreau, 2006) « est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec une personne en immersion pseudo-naturelle. » Bien que les technologies de réalité virtuelle ont connu d'importants développements ces dernières années, elles font encore face à certaines limites, en particulier relatives aux incohérences sensorielles et sensori-motrices, les plus connues étant, et pour ne citer que celles-ci, le conflit accommodation-vergence et le conflit visuo-vestibulaire. Ces incohérences sont susceptibles d'induire des effets négatifs sur l'expérience vécue de l'utilisateur en réalité virtuelle, mais aussi des effets délétères sur sa performance et sa santé, avec la survenue souvent constatée de cybercinétose (ou mal du simulateur).

Si le mal du simulateur est la conséquence la plus manifeste des effets inhérents aux dispositifs de réalité virtuelle, et reste un des freins les plus importants à leur développement, la question de leur validité pour l'étude du comportement humain est également très vive dans la plupart des domaines d'application. D'une part, leurs effets sur les processus perceptivo-moteurs et cognitifs sont encore mal connus et circonscrits. D'autre part, force est de constater qu'il n'existe pas de consensus dans la définition de concepts aussi importants que fidélité, validité, immersion et présence, ni de modèle d'évaluation des dispositifs de réalité virtuelle qui fasse autorité.

Que les dispositifs aient vocation à divertir, éduquer, entraîner, évaluer ou réhabiliter, leur essor rend crucial l'examen des effets, positifs comme limitants, de l'exposition à la réalité virtuelle sur les utilisateurs. Quels sont les caractéristiques immersives et/ou interactives qui facilitent et entravent l'adoption de comportements naturels ? Quel(s) critère(s) évaluer pour rendre compte de la validité d'un dispositif eu égard aux objectifs qui lui sont assignés ? L'absence de fidélité physique est-elle rédhibitoire ? Existe-t-il une ou au contraire de multiples

validités des dispositifs de réalité virtuelle ? En quoi la présence constitue un marqueur de la validité et comment la mesurer ?

Au détour d'études ayant comparé différents dispositifs ou ayant effectué des comparaisons avec les situations réelles, l'objectif de ce symposium est de contribuer à la question de l'évaluation des effets des environnements virtuels sur les utilisateurs, tant sur le plan des concepts manipulés que sur celui des méthodes utilisées.

STRUCTURATION

Le symposium sera composé de quatre présentations précédées d'une présentation introductive de 10 minutes donnée par les organisateurs. Chaque présentation aura une durée de 12 minutes et sera suivie de 5 minutes de questions. A la suite des présentations, une période de 30 minutes sera consacrée aux échanges avec la salle afin de susciter les débats et d'identifier des questionnements partagés et/ou des complémentarités sur lesquelles construire des interactions autour de la thématique. Cette structuration permettra la tenue d'un symposium d'une durée de 110 minutes.

CONTRIBUTEURS AU SYMPOSIUM

Présentation introductive – Régis Lobjois & Sami Mecheri

- Université Gustave Eiffel, PICS-L, Chargé de recherche
- regis.lobjois@univ-eiffel.fr
- Titre : *Évaluation des dispositifs de réalité virtuelle : Panorama des concepts, méthodes et enjeux*
- Résumé : Cette première présentation aura pour objectif de poser le cadre général de la problématique de l'évaluation des dispositifs de réalité virtuelle et servira d'introduction et de cadrage aux exposés qui suivront. Elle s'attachera en particulier à faire le point des questions à enjeu relatives à l'évaluation de ces dispositifs à partir des concepts clé de ce champ d'investigation que sont la fidélité physique, la cybercinétose, la présence et la validité ainsi que des relations que ces différents concepts entretiennent.

Orateur n°1 – Alexis Paljic

- Mines Paris, CAOR, Centre de Robotique, Maître de conférences, HDR
- alexis.paljic@minesparis.psl.eu
- Titre : *Réponse réaliste en réalité virtuelle*
- Résumé : Cette communication présentera la comparaison entre l'activité réelle et celle réalisée en réalité virtuelle pour différentes activités humaines : l'observation de matériaux, l'observation de la taille et la forme d'objets, le geste de manipulation d'objets et la coopération humain-robot. Pour ces différentes activités, nous faisons le constat que en réalité virtuelle, pour certains descripteurs de l'activité, on observe une réponse réaliste des utilisateurs, et que pour d'autres ce n'est pas le cas. Nous discutons de ces résultats en regard des interfaces utilisées.

Orateur n°2 – Sami Mecheri & Régis Lobjois

- Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Unité ECSO, Chercheur
- sami.mecheri@def.gouv.fr
- Titre : *Quelle adaptation aux contraintes spatiales en environnement virtuel ? Une étude basée sur le paradigme de franchissement d'ouvertures*
- Résumé : Les humains ont une remarquable capacité à adapter leur locomotion aux contraintes spatiales dans les environnements encombrés. Cette capacité repose sur la perception de la relation entre les dimensions environnementales et les dimensions de son propre système locomoteur, dont la préservation dans les simulateurs de conduite automobile est peu interrogée. Pour documenter cette question, une série d'expérimentations a été menée dans laquelle des conducteurs devaient franchir une ouverture virtuelle dont la largeur était manipulée afin d'étudier leurs adaptations locomotrices

dans différents types de simulateurs. Nous présenterons les ajustements locomoteurs mis en œuvre par les participants dans cette tâche, en caractérisant leur calibration aux contraintes spatiales rencontrées et leur similarité aux ajustements locomoteurs observés dans les situations réelles.

Oratrice n°3 – Isabelle Milleville

- CNRS, UMR 6004 LS2N, Chargée de recherche, HDR
- isabelle.milleville@ls2n.fr
- Titre : *Réalité virtuelle et présence : Quels impacts pour l'utilisateur ?*
- Résumé : La réalité virtuelle (RV) connait des développements dans de très nombreux domaines (médecine, recherche, formation, …). Pourquoi ? parce qu'en se substituant à la réalité, elle agit, à l'instar de celle-ci, sur les processus perceptifs et cognitifs de l'utilisateur. Les adaptations observées en RV ne se limitent pas au virtuel et se répercutent, au moins partiellement, dans la réalité, parfois durablement. En témoignent, par exemple, le succès du traitement des phobies en RV. Si cela permet de formidables progrès, cela implique néanmoins de mesurer pleinement la portée de cette technologie et d'en poser les limites dans un cadre éthique.

Oratrice n°4 – Rebecca Fribourg

- Centrale Nantes, Laboratoire AAU-CRENEAU, Maîtresse de conférences
- rebecca.fribourg@ec-nantes.fr
- Titre : *Mesurer le sentiment d'incarnation d'un utilisateur envers son avatar en Réalité Virtuelle : Limitations et nouvelles méthodes*
- Résumé : La Réalité Virtuelle (RV) permet aux utilisateurs de s'immerger dans un monde virtuel dans lequel ils peuvent être représentés par un corps virtuel aussi appelé « avatar ». Le sentiment d'incarnation des utilisateurs envers leur avatar (i.e. à quel point ils ont l'impression de posséder, de contrôler et d'être spatialement dans leur corps virtuel) a une influence sur l'immersion, la présence sociale et le comportement des utilisateurs en RV. La présentation abordera en quoi mesurer le sentiment d'incarnation est un vrai défi de par les limitations des questionnaires subjectifs communément utilisés, et la difficulté de manipulation de mesures objectives.

Évaluation des dispositifs de réalité virtuelle : Panorama des concepts, enjeux et méthodes.

Régis Lobjois[1] & Sami Mecheri[2]

[1] Laboratoire Perceptions, Interactions, Comportements & Simulations (PICS-L)

Université Gustave Eiffel

regis.lobjois@univ-eiffel.fr

[2] Unité d'Ergonomie Cognitive des Situations Opérationnelles (ECSO)

Institut de Recherche Biomédicale des Armées

sami.mecheri@def.gouv.fr

RÉSUMÉ

Cette présentation a pour objectif d'introduire la problématique de l'évaluation des dispositifs de réalité virtuelle et sert de cadrage aux différents exposés qui suivent. Elle fait une synthèse des questions à enjeu relatives à l'évaluation de ces dispositifs à partir des concepts clé de ce champ d'investigation que sont la fidélité physique, la validité, la présence et la cybercinétose ainsi que des relations que ces différents concepts entretiennent.

MOTS-CLÉS

Environnements virtuels ; Immersion ; Interaction ; Evaluation ; Validité.

1. INTRODUCTION

Pour positionner la problématique de l'évaluation des dispositifs de réalité virtuelle, il est nécessaire d'évoquer les concepts que traverse la réalité virtuelle qui « est un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec une personne en immersion pseudo-naturelle » (Fuchs & Moreau, 2006).

Alors que l'interaction est souvent considérée comme un facteur de l'immersion, il est néanmoins important de distinguer ces deux aspects fondamentaux de l'exposition à la réalité virtuelle car il est tout à fait possible d'être immergé (ou de se sentir immergé) sans pour autant avoir à interagir. L'immersion est définie comme le fait d'exposer une personne à un environnement virtuel en occultant tout ou partie du monde réel pour afficher en lieu et place un monde artificiel. Liée par essence à la nature multimodale de la perception, elle est obtenue en substituant les stimulations du monde réel par leurs correspondances dans le monde virtuel (Mestre & Fuchs, 2006). A cette notion d'immersion s'adosse celle d'interaction par laquelle une personne peut manipuler les objets présents dans son environnement ou encore s'y déplacer, et qui, par différents capteurs, permet de mettre à jour en temps réel l'information fournie au sujet.

Immersion et interaction regroupent ainsi l'ensemble des facteurs technologiques permettant d'une part de stimuler les différents sens de la personne et d'autre part de capter ses actions motrices, actions par lesquelles elle (inter)agit (avec)sur l'environnement. Le caractère immersif et interactif d'un système de réalité virtuelle relève donc de ses aspects technologiques et de ses propriétés logicielles et matérielles (Burkhardt et al., 2003).

2. FIDELITE PHYSIQUE

Les propriétés logicielles et matérielles des différents systèmes et sous-systèmes fournissent des métriques (e.g., résolution de l'image en pixels, taille du champ visuel en degrés, temps de latence en ms…) qui permettent de caractériser la fidélité physique d'un dispositif, en d'autres termes de mesurer le degré de correspondance entre les stimulations dans le monde réel et dans le monde virtuel. Les dispositifs devenant de plus en plus performants, la fidélité physique est vue comme un levier permettant d'améliorer le réalisme objectif comme subjectif, avec l'hypothèse sous-jacente qu'un dispositif hautement réaliste maximiserait l'expérience vécue (e.g. Bowman & McMahan, 2007).

Alors que la fidélité physique est souvent considérée comme la dimension déterminante de la validité des dispositifs de réalité virtuelle (e.g., Al Jundi & Tanbour, 2022), ce sont aussi ses effets sur les utilisateurs qu'il est indispensable de connaître et ce, pour plusieurs raisons : i) maximiser la fidélité d'un dispositif améliore le réalisme perçu et le sentiment de présence (section 4) mais n'améliore pas nécessairement la performance dans la tâche. La validité d'un dispositif est donc à rechercher sur d'autres dimensions que sa seule fidélité physique (section 3) ; ii) maximiser la fidélité physique peut avoir des effets contre-productifs (sections 5 et 6) ; iii) un dispositif peut être valide sans pour autant être fidèle. La relation de cause à effet n'est donc pas si univoque et les recherches peinent à déterminer dans quelle mesure un niveau d'immersion ou d'interaction plus ou moins élevé (et les facteurs y contribuant) participe de l'expérience en réalité virtuelle (e.g., Bowman & McMahan, 2007).

3. LES TROIS DIMENSIONS DE LA VALIDITE

Il existe différentes dimensions de la validité d'un dispositif (subjective, comportementale et psychologique) mais les relations qu'elles entretiennent et leurs contributions respectives à la validité d'un dispositif pour une application donnée ne sont pas clairement établies. Comme le soulignent Harris et al. (2020), l'essentiel des travaux s'est attaché à renseigner, par questionnaires ou entretien, les effets des caractéristiques des dispositifs sur le ressenti subjectif des utilisateurs en termes d'immersion, de réalisme et de présence qui sont les principaux effets recherchés d'une exposition à la réalité virtuelle. Un haut niveau de validité subjective ne garantit cependant pas un haut niveau de validité comportementale. Un utilisateur peut tout à fait porter un jugement positif à l'égard d'un dispositif sans pour autant que ses performances égalent celles en réel (Harris et al., 2021). La validité subjective d'un dispositif serait donc une condition nécessaire mais pas suffisante de la validité comportementale. D'autre part, un haut niveau de validité comportementale ne garantit pas un haut niveau de validité psychologique. Un utilisateur peut en effet se comporter de la même façon en réel et en virtuel sans pour autant que les processus et ressources soient mobilisés de la même façon dans les deux environnements (Lobjois et al., 2021). La fidélité physique ayant des effets différenciés sur les trois dimensions de la validité, une approche multidimensionnelle de l'évaluation est donc à préconiser afin de mettre en évidence en quoi les caractéristiques d'un dispositif contribuent à sa validité (et sur quelle dimension) mais aussi les limites qu'elles occasionnent sur le positionnement des utilisateurs.

4. PRESENCE

La présence est vue comme la conséquence psychologique de l'immersion dans un environnement virtuel. Elle est définie comme le fait de se sentir présent dans un autre environnement que celui dans lequel on se situe physiquement. Slater et Sanchez-Vives (2016) ont proposé que la présence repose d'une part sur l'illusion de se sentir présent dans l'environnement virtuel et d'autre part, sur l'illusion que les événements qui s'y produisent sont réellement en train de se passer. Pour Felton et Jackson (2022), la présence repose sur deux dimensions fondamentales : la présence spatiale et la présence sociale. La présence spatiale renvoie à l'impression d'être présent dans l'environnement et d'être soumis/sujet à toute modification s'y produisant. Percevoir que l'environnement réagit aux actions de l'utilisateur et que leurs conséquences sont conformes aux attentes contribuent à l'illusion de se sentir présent dans l'environnement, et la transparence des interfaces en serait un des déterminants principaux. La présence sociale se réfère à l'impression de partager un espace commun

avec d'autres entités autonomes. Là encore, la performance des systèmes (ici de co-localisation) joue un rôle déterminant dans la capacité d'un dispositif à induire la présence sociale.

Si performance du système et présence entretiennent bien une relation positive, les résultats montrent que ce lien n'est pas systématique. Cummings et Bailenson (2016) ont analysé 83 études examinant ce lien et mis en évidence un effet de taille moyenne de l'immersion sur le sentiment de présence. Ils ont néanmoins montré que l'effet observé dépendait des facteurs considérés : la fréquence de rafraîchissement, la qualité du tracking ou encore la stéréoscopie contribuent ainsi le plus fortement à la présence, tandis que la qualité de l'image et du son y contribuent peu.

Enfin, la présence entretient des bases communes avec les cinétoses. Sous l'effet de l'immersion, il n'est pas exclu que le niveau de présence chute avec l'apparition de cinétose. La distraction provoquée par la cinétose empêcherait l'attention de se déployer pleinement sur l'environnement virtuel, attention qui est nécessaire pour s'y sentir présent. D'autres travaux alimentent l'hypothèse inverse : la présence contribuerait à détourner l'attention des facteurs intrusifs tels que les conflits sensoriels et en limiterait la survenue. Enfin, un certain nombre de travaux n'ont pas montré de relation entre les deux phénomènes, l'intensité de la présence résistant à la survenue des cinétoses. Pour Clifton et Palmisano (2020), l'évolution des technologies et des conditions d'immersion devrait induire une relation positive entre les deux phénomènes : l'utilisation des visiocasques va certainement être associée à des effets indésirables mais aussi à des niveaux de présence bien plus élevés que des dispositifs d'affichage classiques.

5. CYBERCINETOSE

L'exposition à un environnement virtuel peut provoquer des effets indésirables semblables à ceux du mal des transports (e.g., nausée, vertige, céphalée). Différentes hypothèses ont été proposées pour expliquer la cybercinétose (voir Stanney et al., 2020). La théorie du conflit sensoriel postule que les cinétoses ont pour origine l'existence d'un conflit multisensoriel ou bien intra-sensoriel. Selon la théorie du Poison, les conflits sensoriels sont assimilés par l'organisme à l'ingestion d'une toxine, déclenchant ainsi une réponse émétique. La théorie du contrôle postural, alternative à la théorie du conflit sensoriel (puisqu'elle n'explique pas pourquoi certain(e)s sont malades et d'autres pas), postule que l'instabilité posturale, marqueur d'une inadaptation à la situation, serait une condition nécessaire et suffisante de la survenue des cinétoses. Elle prédit ainsi que des différences au plan du contrôle postural existent entre les individus qui seraient sujet à la cybercinétose et ceux qui ne le seraient pas.

Les effets nauséogènes de la réalité virtuelle peuvent être évalués à partir d'indicateurs physiologiques, posturaux ou de mesures par questionnaire, et en particulier le *Simulator Sickness Questionnaire* (Kennedy et al., 1993). Différents travaux ont cherché à déterminer, à partir des scores au SSQ, le rôle des facteurs de la fidélité physique sur la survenue des cinétoses. L'ANSES (2020) a ainsi montré que les visiocasques, le rendu visuel en stéréoscopie, la richesse de la scène, le nombre d'axes de rotation ou l'intensité du flux visuel contribuent à la cybercinétose. Saredakis et al. (2020) ont quant à eux montré que le contenu, la stimulation visuelle et le mode de navigation y contribuaient de manière significative. D'autres travaux ont exploré l'idée que les effets de la fidélité physique sur la cinétose dépendraient du caractère multisensoriel de la stimulation. Chang et al. (2020) ont montré que lorsque la fidélité au plan visuel était améliorée, la cybercinétose augmentait, tandis qu'elle se réduisait lorsque ces mêmes manipulations étaient associées à d'autres modalités sensorielles.

6. (DES)ADAPTATION

La dissociation possible entre les comportements adoptés et les processus qui les sous-tendent introduit en creux l'idée qu'un utilisateur doit finalement s'adapter aux contraintes et limites du dispositif. Dans ce cas, les utilisateurs ajustent leurs schèmes comportementaux et ne se comporteraient donc pas (tout à fait) comme ils le feraient en situation réelle. On retrouve cette idée dans les travaux portant sur l'adaptation à un simulateur de conduite qui serait le moyen le plus efficace pour que les utilisateurs s'habituent aux différences existant entre réel et virtuel et adoptent des comportements « réalistes ». Cette proposition n'est pas neutre puisque l'adaptation au plan

sensori-moteur implique une (re)calibration perceptivo-motrice définie comme l'ajustement ou l'établissement de nouvelles correspondances entre les indices sensoriels disponibles et les actions motrices (*mapping* perceptivo-moteur ; Mole et al., 2019). Si, sur simulateur de conduite, il y a adaptation dans le but de maintenir un niveau de performance similaire au réel, elle se produit sur la base d'un ajustement des informations utilisées et/ou d'une modification des réponses motrices, i.e., d'un changement au plan des couplages sensori-moteurs. Day et al. (2019) ont ainsi montré, dans une tâche de pointage avec modification ou non des propriétés anthropométriques d'un bras virtuel, que l'erreur à la cible diminuait avec la répétition, suggérant l'existence d'une recalibration des mécanismes sensori-moteurs, mais aussi que l'erreur persistait lors du retour à la condition réelle, suggérant l'existence de post-effets liés à une exposition.

7. BIBLIOGRAPHIE

ANSES (2020). Effets sanitaires liés à une exposition aux technologies de réalité virtuelle et/ou augmentée. Rapport d'expertise collective (314 p). Saisine n°2017-SA-0076.

Al-Jundi, H. A., & Tanbour, E. Y. (2022). A framework for fidelity evaluation of immersive virtual reality systems. *Virtual Reality*, 26, 1103–1122.

Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual Reality: How much immersion is enough? *IEEE Computer*, *40*(7), 36–43.

Burkhardt, J. M., Bardy, B., & Lourdeaux, D. (2003). Immersion, Réalisme et Présence dans la conception et l'évaluation des environnements virtuels. *Psychologie Française*, *48*(2), 35-42.

Chang, E., Kim, H. T., & Yoo, B. (2020) Virtual reality sickness: A review of causes and measurements. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *36*, 1658-1682.

Clifton, J., & Palmisano, S. (2020). Effects of steering locomotion and teleporting on cybersickness and presence in HMD-based virtual reality. *Virtual Reality*, *24*, 453–468.

Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, *19*, 272–309.

Day, B., Ebrahimi, E., Hartman, L. S., Pagano, C. C., Robb, A. C., & Babu, S. V. (2019). Examining the effects of altered avatars on perception-action in virtual reality. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *25*(1), 1-24.

Felton, W. M., & Jackson, R. E. (2022). Presence: A Review. *International Journal of Human–Computer Interaction*., *38*, 1-18.

Fuchs, P., & Moreau, G. (2006). Le traité de la réalité virtuelle. Paris : Presse des Mines.

Harris, D. J., Bird, J. M., Smart, A. P., & Vine, S. J. (2020). A framework for the testing and validation of simulated environments in experimentation and training. *Frontiers in Psychology*, *11*:605.

Harris, D. J., Buckingham, G., Wilson, M. R., & Vine, S. J. (2021). Exploring sensorimotor performance and user experience within a VR golf putting simulator. *Virtual Reality*, *25*, 647-654.

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, *3*(3), 203-220.

Lobjois, R., Faure, V., Désiré, L., & Benguigui, N. (2021). Behavioral and workload measures in real and simulated driving: Do they tell us the same thing about the validity of driving simulation? *Safety Science*, *134*, 105046.

Mestre, D.R., & Fuchs, P. (2006). Immersion et présence. In P. Fuchs, G. Moreau, A. Berthoz, J-L. Vercher (Eds.), *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, Volume 1, 3ème Edition (pp. 309-338). Paris : Presse des Mines.

Mole, C. D., Lappi, O., Giles, O., Markkula, G., Mars, F., et al. (2019). Getting back into the loop: The perceptual-motor determinants of successful transitions out of automated driving. *Human Factors*, *61*(7), 1037–1065.

Stanney, K., Lawson, B., Rokers, B., Dennison, M., Fidopiastis, C., et al. (2020). Identifying causes of and solutions for cybersickness in immersive technology: Reformulation of a research and development agenda. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *36*, 1783-1803.

Saredakis, D., Szpak, A., Birckhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020) Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14:96.

Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, *3*, 74.

Réponse Réaliste en Réalité Virtuelle.

Alexis Paljic

Centre de robotique, Mines Paris PSL Research University

alexis.paljic@minesparis.psl.eu

RÉSUMÉ

Cette communication présente la comparaison entre l'activité réelle et celle réalisée en réalité virtuelle pour différentes activités humaines : l'observation de matériaux, l'observation de la taille et la forme d'objets et la coopération humain-robot. Nous faisons le constat que en réalité virtuelle, pour certains descripteurs de l'activité, on observe une réponse réaliste des utilisateurs, et que pour d'autres ce n'est pas le cas. Nous soutenons que la façon de caractériser le réalisme de la réponse en réalité virtuelle dépend de l'usage qui est fait de cet outil. Veut-on s'assurer de l'équivalence entre virtuel et réel de la perception, des mécanismes cognitifs, ou des post-effets dus à l'exposition ?

MOTS-CLÉS

Immersion, interaction, réponse réaliste, perception, incohérences sensori-motrices.

1. INTRODUCTION

Le comportement humain réaliste dans les simulations de réalité virtuelle est une question centrale lorsque la réalité virtuelle est utilisée comme outil prédictif. L'usage de la réalité virtuelle en tant qu'outil prédictif relève d'un pari : celui de considérer que le comportement humain lors d'activités en environnement virtuel est représentatif de tout ou partie de son comportement lors de l'activité réelle correspondante. Cet usage prédictif prend tout son sens quand la réalité virtuelle est utilisée pour concevoir des objets ou espaces pour l'humain, sous forme de prototypes virtuels, avant leur existence physique, ou pour étudier le comportement humain dans un contexte thérapeutique. Les systèmes de réalité virtuelle immersifs de type visiocasques ou CAVEs introduisent des incohérences sensori-motrices et cognitives qui perturbent l'activité et donc l'équivalence entre l'activité virtuelle et réelle, que nous nommons *réponse réaliste*.

Les travaux de recherche constatent des différences entre virtuel et réel pour différentes activités et à divers degrés. En voici quelques exemples. Une activité souvent étudiée est l'estimation des distances égocentriques, c'est-à-dire de soi à un objet. Dans les visiocasques, on constate une sous-estimation des distances [1], ou sa dépendance à l'angle de vue [2]. Une expérimentation suggère que cette sous-estimation s'estompe lorsque on ajoute à l'objet virtuel dont la taille est estimée, une représentation réaliste de son environnement physique [3]. Pour l'estimation de la taille des objets dans des systèmes de type CAVE, les distorsions d'estimation (sur- ou sous-estimation) dépendent de la position des objets virtuels relativement à la surface de projection [4]. D'une façon générale la performance lors de tâches motrices est moindre en virtuel, que ce soient des tâches de pointage [5], de manipulation digitale d'objets [6] ou de navigation [7]. Il reste que la performance (temps, précision) n'est pas la seule manière de caractériser la réponse réaliste, on peut par exemple mettre en évidence des équivalences entre réel et virtuel pour les stratégies déployées dans les tâches de montage sans pour autant avoir équivalence de performance [8].

Denis [9] propose 3 approches pour étudier la réponse réaliste : la comparaison réel-virtuel, l'étude des mécanismes neurobiologiques, le transfert des compétences du virtuel au réel. Dans cette communication, nous présentons des résultats de trois expérimentations employant la méthode comparative. Nous discutons de comment rendre opérationnelles les mesures objectives et subjectives

dans l'objectif de décider de la validité ou non des simulations immersives, et suggérons enfin d'adapter la définition et la caractérisation de la réponse réaliste en fonction des usages voulus de l'outil immersif.

2. OBSERVATION VISUELLE DE MATERIAUX

Dans cette première expérience, nous comparons, entre réel et virtuel, l'observation de peintures automobiles dont une des caractéristiques est la présence de paillettes métalliques donnant un aspect scintillant à la surface. Les usagers doivent rapprocher l'apparence visuelle d'un échantillon de peinture physique et d'échantillons virtuels dont les propriétés physiques simulées, basées sur des modèles numériques d'interaction lumière-matière, changent. La question sous-jacente est, à équivalence visuelle perçue, a-t-on équivalence entre modèle numérique et propriétés de l'échantillon physique ? Les résultats montrent une distorsion de perception, et des seuils de détection de variations dans les propriétés visuelles que nous pouvons chiffrer. En ce sens, la simulation des propriétés physiques visuelles réalistes est possible, ainsi que la définition d'un espace de validité de la simulation.

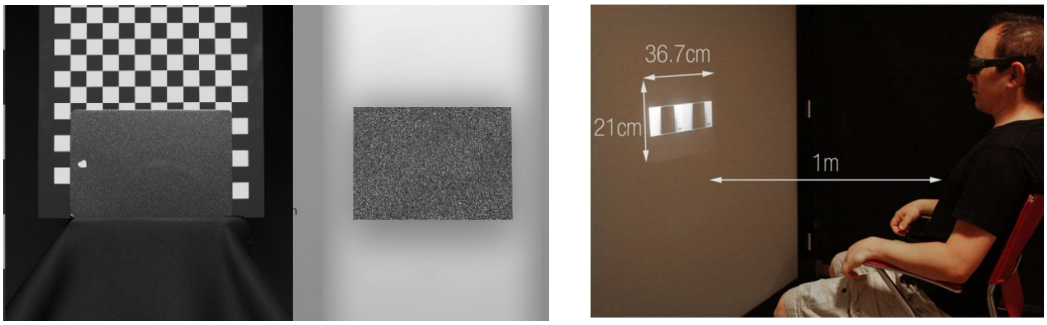


Figure 4 : (Gauche) Simulation visuelle de matériaux. Matériau réel et matériau simulé. (Droite) Expérience de comparaison entre photographie du réel et matériau virtuel dans un système de réalité virtuelle. L'expérience permet de valider les modèles et déterminer les seuils et distorsions de perception.

3. PERCEPTION DE LA TAILLE ET DE LA FORME D'OBJETS

Dans cette expérience, les sujets doivent réaliser une tâche de comparaison de la taille perçue entre objets réels (sphères, objets asymétriques) et leurs équivalents virtuels présentés dans un système de type CAVE avec suivi de mouvement de la tête, perspective dynamique, stéréoscopie. L'expérience met en évidence des distorsions de perception, des sous estimations, et sur estimations de la taille des objets virtuels. Elles mettent en évidence les défauts des algorithmes de rendu utilisés en RV.

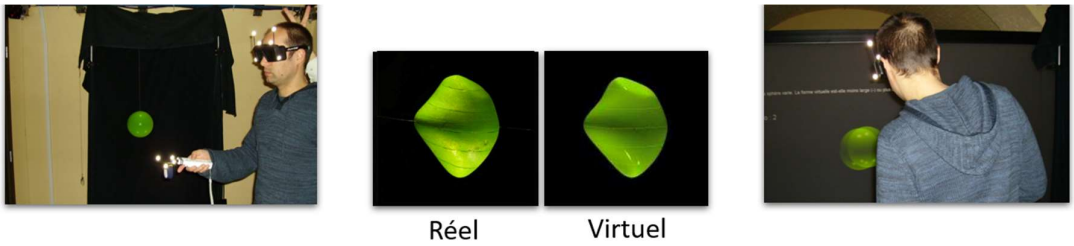


Figure 5 : Comparaison visuelle de taille et forme d'objets. L'expérience démontre des distorsions de perception entre réel et virtuel, on observe des surestimations et des sous estimations de la taille virtuelle des objets dépendantes des systèmes utilisés et des algorithmes de rendu graphique.

4. INTERACTION AVEC DES ROBOTS

Dans cette expérience, une situation de collaboration avec un robot a été simulée en réel et en virtuel. On compare différents niveaux d'autonomie du robot dans une tâche de montage d'objets. Des

métriques objectives (performance dans la tâche, pulsation cardiaque, réponse électrodermale) et subjectives (questionnaires de sécurité et d'utilité perçue du robot) ont été comparées. Les questionnaires subjectifs d'utilité et de sécurité perçues montrent des résultats identiques entre réel et virtuel, cependant, certaines mesures subjectives et objectives suggèrent que les aspects émotionnels (dangerosité perçue) sont amoindris en réalité virtuelle.

Figure 6 : Simulation de la coopération homme-robot en usine en réel (haut) et en virtuel (bas). Les questionnaires d'acceptabilité ou d'utilité perçue du robot sont cohérents entre réel et virtuel. Cependant, certains marqueurs objectifs de l'effort ou émotionnels montrent des valences inférieures en réalité virtuelle.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous soutenons que la façon de caractériser le réalisme de la réponse en réalité virtuelle dépend de l'usage final. Veut-on s'assurer de l'équivalence entre virtuel et réel de la perception, des actions motrices, des mécanismes cognitifs, ou des post-effets dus à l'exposition ?

Si l'on considère seulement les aspects perceptifs, il ressort des deux premières expériences, que nous pouvons dessiner assez précisément le domaine de validité de ces simulations. Pour ces deux exemples, l'usage de méthodes de psychophysique nous permet de déterminer les seuils de perception des stimuli. C'est une information utile aux concepteurs de l'environnement simulé en VR qui doivent s'assurer de présenter des variations supérieures à ces seuils. En dessous de ces seuils, les variations sont trop petites pour que l'immersant les perçoive, et ses réponses sont aléatoires. Nous soutenons qu'une démarche de mise en place d'expérimentations perceptives en amont d'un usage prédictif des outils immersifs peut servir a recalibrer les modèles et arriver à une réponse réaliste. Dans le cas de nos deux expériences, il s'agit de modèles de matériaux pour la première, et des algorithmes de rendu 3D stéréoscopique pour la seconde.

En ce qui concerne l'équivalence réel virtuel sur les aspects moteurs, les résultats dans la littérature sont variés. Le comportement moteur en virtuel est dépendant de nombreux paramètres. Ceux-ci peuvent être techniques (complétude des stimuli, existence d'incohérences sensori-motrices) ou motivationnels (sentiment de présence, suspension de l'incrédulité). Nous renvoyons le lecteur vers une analyse plus large de la littérature sur la comparaison réel virtuel [10]. Notons qu'une stratégie de transformation du virtuel pour recaler les performances au réel est possible, c'est une approche proposée par Chapoulie [6] dans le domaine de la manipulation d'objets : on agrandit les objets virtuels pour les rendre plus faciles à manipuler et ainsi contrer les limitations de la simulation.

Les expériences comparatives réel virtuel sont peu nombreuses en ce qui concerne des activités que nous qualifierons de plus haut niveau, impliquant un traitement cognitif plus important, des aspects émotionnels ou sociaux. Aucune de nos expériences ne permet de valider que les mécanismes cognitifs sous-jacents sont les mêmes que pour la tâche réelle. Dans l'expérimentation de collaboration homme-

robot, la sécurité perçue est moindre auprès du robot physique qu'aux côtés du virtuel. Que manque-t-il à ce robot virtuel pour suggérer sa présence réelle à nos côtés ?
En conclusion, si nous considérons une classification de tâches en complexité croissante comme suit : perceptives, psychomotrices, cognitives, sociales, nous suggérons que la complexité des métriques à mettre en place pour valider la réponse réaliste est également croissante. Il est illusoire penser que nous pouvons prouver en amont la réponse réaliste dans la multitude des choix possibles de conception des environnements virtuels en termes d'immersion et d'interaction. Nous proposons de considérer différents niveaux de validation de la réalité virtuelle répondant à différents objectifs expérimentaux. Tout d'abord, la validation *absolue* sur des métriques perceptives qui permet de comparer numériquement la perception entre réel et virtuel. Ensuite, la validation *relative*, répondant au besoin de simplement ordonnancer, sans avoir de correspondance absolue entre les indicateurs d'activité entre virtuel et réel. Enfin, la validation des *mécanismes cognitifs* entre réel et virtuel. Cette dernière approche requiert de poursuivre le dialogue entre sciences cognitives et communautés de réalité virtuelle.

6. BIBLIOGRAPHIE

[1] Renner, R. S., Velichkovsky, B. M., & Helmert, J. R. (2013). The perception of egocentric distances in virtual environments-a review. ACM Computing Surveys (CSUR), 46(2), 1-40.

[2] Peillard, E., Thebaud, T., Normand, J. M., Argelaguet, F., Moreau, G., & Lécuyer, A. (2019, March). Virtual objects look farther on the sides: The anisotropy of distance perception in virtual reality. In 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 227-236). IEEE.

[3] Interrante, V., Ries, B., & Anderson, L. (2006, March). Distance perception in immersive virtual environments, revisited. In IEEE virtual reality conference (VR 2006) (pp. 3-10). IEEE.

[4] Leroy, L., Fuchs, P., Paljic, A., & Moreau, G. (2009, February). Experiments on shape perception in stereoscopic displays. In Stereoscopic Displays and Applications XX (Vol. 7237, pp. 383-393). SPIE.

[5] Khademi, M., Hondori, H. M., Dodakian, L., Cramer, S., & Lopes, C. V. (2013, July). Comparing "pick and place" task in spatial augmented reality versus non-immersive virtual reality for rehabilitation setting. In 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 4613-4616). IEEE.

[6] Chapoulie, E., Tsandilas, T., Oehlberg, L., Mackay, W., & Drettakis, G. (2015, March). Finger-based manipulation in immersive spaces and the real world. In 2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI) (pp. 109-116). IEEE.

[7] Khenak, N., Vezien, J., & Bourdot, P. (2020). Spatial presence, performance, and behavior between real, remote, and virtual immersive environments. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 26(12), 3467-3478.

[8] Yoshikawa, T., Kawai, M., & Yoshimoto, K. (2003). Toward observation of human assembly skill using virtual task space. In Experimental Robotics VIII (pp. 540-549). Springer Berlin Heidelberg.

[9] Denis, M. Espaces virtuels. PSY-Théories, débats, synthèses, pages 251-266, Janvier 2017

[10] Paljic, A. (2018). Réponse Réaliste en Réalité Virtuelle (Habilitation dissertation, Sorbonne Université/Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

Quelle adaptation aux contraintes spatiales en environnement virtuel ? Une étude basée sur le paradigme du franchissement d'ouverture.

Sami Mecheri[1] & Régis Lobjois[2]

[1] Unité d'Ergonomie Cognitive des Situations Opérationnelles (ECSO)

Institut de Recherche Biomédicale des Armées – sami.mecheri@def.gouv.fr

[2] Laboratoire Perceptions, Interactions, Comportements & Simulations (PICS-L)

Université Gustave Eiffel – regis.lobjois@univ-eiffel.fr

RÉSUMÉ

Les simulateurs de conduite sont généralement classés en trois catégories (simulateurs dits de bas niveau, intermédiaires ou de haut niveau) en fonction de caractéristiques relatives à leur fidélité physique (e.g., présence d'une plateforme dynamique, taille du champ visuel, présence d'une cabine). La présente étude porte sur la validité des mesures de contrôle latéral du véhicule recueillies avec un simulateur de bas niveau dépourvu de cabine. Dans ce but, nous avons analysé les adaptations comportementales mises en œuvre par des conducteurs dans une tâche de franchissement d'une ouverture (dont la largeur était manipulée) en présence ou en absence d'une cabine virtuelle dans l'environnement visuel. Les résultats indiquent que les simulateurs de bas niveau dépourvus de cabine peuvent altérer le contrôle latéral des conducteurs et ainsi produire des comportements inadaptés dans des situations de conduite où l'appréhension des contraintes spatiales est cruciale.

MOTS-CLÉS

Simulateur ; Contrôle latéral ; Validité ; Locomotion ; Calibration.

1. INTRODUCTION

Les humains ont une capacité remarquable à adapter leur locomotion aux contraintes spatiales dans les environnements complexes (Fajen, 2021). Il est bien établi que cette capacité repose sur une calibration perceptive de la relation individu-environnement, au sens où les dimensions du système locomoteur d'un individu constituent des références intrinsèques qui modulent sa perception de l'environnement en fonction des adaptations locomotrices requises (Stoffregen, 2003).

Un fort soutien empirique à cette notion a été apporté par le paradigme expérimental du franchissement d'ouverture (Warren & Whang, 1987), dans lequel des participants doivent traverser des ouvertures (ou « portes ») de différentes largeurs. Au moyen de ce paradigme, il a été montré que les individus – qu'ils aient des épaules larges ou étroites – adaptent leur locomotion relativement à une largeur d'ouverture proportionnelle à la largeur des épaules (130%). En dessous de celle-ci, ils franchissent l'ouverture en tournant les épaules plutôt que de face pour éviter de heurter les murs. Cette tâche a été reproduite en environnement virtuel dans une étude en CAVE (permettant la vue de son corps, Lepecq et al., 2009) et en visiocasque (permettant la vue d'un avatar de son corps, Mestre et al., 2016). Les adaptations locomotrices observées y étaient similaires à celles mises en œuvre en situation réelle (Warren & Whang, 1987), avec un rapport invariant de la largeur des épaules qui structurait la transition entre un franchissement de face et avec rotation des épaules. Ces résultats montrent que les adaptations comportementales (rotation des épaules pour franchir une ouverture étroite) sont préservées dans des dispositifs de réalité virtuelle qui fournissent un accès aux

informations visuelles spécifiant les dimensions corporelles, soit directement (Lepecq et al., 2009) soit *via* une représentation dans le rendu graphique (Mestre et al., 2016).

En matière de sécurité routière, les simulateurs de conduite sont fréquemment utilisés pour analyser le comportement des conducteurs en réponse aux contraintes spatiales latérales exercées par l'infrastructure (e.g., effets de la largeur de voie et/ou d'accotement sur la position latérale du véhicule, écarts aux bords de voie, inter-distance latérale de dépassement d'un cycliste, e.g., Mecheri et al., 2017). Toutefois, une large partie de ces travaux est menée avec des simulateurs dépourvus de cabine physique représentant les dimensions du véhicule. Étant donné que les adaptations locomotrices ne dépendent pas des seules propriétés de l'environnement, mais de la relation entre les propriétés de l'environnement et celles du système locomoteur (Warren & Whang, 1987), l'absence de cabine dans un simulateur de conduite est susceptible d'altérer cette relation grâce à laquelle un individu contrôle son véhicule. Il apparait donc nécessaire d'interroger la capacité des simulateurs de conduite sans cabine à offrir un environnement permettant aux conducteurs de contrôler un véhicule relativement à son gabarit et aux contraintes spatiales des environnements routiers.

Dans la présente étude, nous avons évalué la validité d'un simulateur de conduite de bas niveau pour l'étude de la manière dont un conducteur opère le contrôle latéral de son véhicule. Pour ce faire, nous avons analysé les adaptations mises en œuvre par des conducteurs dans une tâche de franchissement d'ouverture selon que le simulateur était dépourvu de cabine représentant le gabarit du véhicule, ou pourvu d'une cabine virtuelle (à l'échelle 1) affichée dans l'environnement de simulation. En transposant les ajustements locomoteurs observés dans des tâches de franchissement d'ouverture à la conduite automobile, deux hypothèses ont été formulées. Premièrement, il a été postulé que les participants réduiraient la distance séparant le centre du véhicule du centre de l'ouverture avec la réduction de sa largeur (afin de ne pas entrer en collision avec les murs), et que ces ajustements seraient plus sensibles à la largeur de l'ouverture en présence de cabine. Une seconde hypothèse a postulé que les participants réduiraient leur vitesse pour franchir les ouvertures les plus étroites, tel que l'ont montré Wilmut et Barnett (2010) dans une situation de locomotion.

2. METHODE

2.1. Participants

Trente-huit participants, tous ayant une vision normale ou corrigée, ont accepté de participer à l'étude. Ils ont été affectés au groupe « avec cabine » (n=19), dans lequel une cabine virtuelle était présente dans l'environnement, ou au groupe « sans cabine » (n = 19). Tous les participants avaient leur permis de conduire depuis au moins deux ans et avaient au moins 20 000 km d'expérience de conduite. Tous ont donné leur consentement éclairé avant d'être inclus dans l'expérimentation.

2.2. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été menée avec un simulateur de conduite composé d'un volant à retour de force, de pédales et d'une boîte de vitesses (Logitech G25). L'environnement visuel était présenté sur trois écrans (résolution de 1920 × 1080 pixels) formant un angle visuel de 120° horizontalement et de 24° verticalement. Deux configurations de ce simulateur ont été utilisées : (i) une configuration « avec cabine », qui présentait une cabine virtuelle complète (i.e., à l'échelle 1) dans l'environnement visuel (largeur du véhicule : 1.86 m), et (ii) une configuration « sans cabine ».

2.3. Stimuli et plan expérimental

L'environnement était composé d'un sol texturé et de deux murs. L'espace séparant les deux murs définissait la largeur de l'ouverture. La tâche demandée aux participants était de traverser les ouvertures avec leur véhicule sans entrer en collision avec les murs. Leur position de départ était alignée latéralement avec le centre de l'ouverture et située à une distance longitudinale de 55 m. Six largeurs d'ouverture (exprimées en ratio de la largeur du véhicule) ont été employées : 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9, 2.1. Les participants ont réalisé un total de 42 essais (6 largeurs × 7 répétitions) présentés

aléatoirement en six blocs. Chaque essai débutait par un écran noir pendant lequel les participants devaient enfoncer la pédale d'accélérateur pendant 2 secondes pour lancer leur véhicule à une vitesse initiale (et plafond) de 50 km/h. Les participants pouvaient réduire leur vitesse au cours de l'essai en relâchant la pédale d'accélérateur (la pédale de frein n'était pas utilisable).

2.4. Variables et Analyse Statistique

Les analyses ont été effectuées au moment du franchissement à partir de trois variables : la position latérale, la vitesse et le nombre de collisions (avec les murs). La position latérale correspondait à la distance (absolue) séparant le centre du centre du véhicule du centre de l'ouverture. Les variables vitesse et position latérale ont été examinées avec des ANOVAs, 2 (Groupe : avec cabine, sans cabine) × 6 (largeur d'ouverture : 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9, 2.1). Pour les collisions, un Chi^2 d'indépendance Collision (Oui, Non) × Groupe (avec cabine, sans cabine) a été réalisé pour chaque largeur d'ouverture.

3. RESULTATS

3.1. Vitesse

L'ANOVA a révélé un effet de la largeur de l'ouverture ($p < .001$). Aucun autre effet principal ou d'interaction n'a été observé. La vitesse adoptée était significativement inférieure dans les conditions 1.1 (41 ± 12 km/h) et 1.3 (43 ± 11 km/h) comparativement aux autres largeurs d'ouverture (1.5 = 46 ± 8 km/h ; 1.7 = 47 ± 8 km/h ; 1.9 = 47 ± 7 km/h ; 2.1 = 47 ± 7 km/h).

3.2. Position Latérale

Concernant la position latérale, un effet de la largeur d'ouverture ($p < .001$) et une interaction groupe × largeur d'ouverture ($p < .001$) ont été observés. En présence de cabine (Figure 1), la position dans la condition 2.1 (25 ± 15 cm) était significativement plus distante du centre de l'ouverture que dans les conditions 1.7 (17 ± 14 cm), 1.5 (15 ± 12 cm), 1.3 (13 ± 11 cm) et 1.1 (12 ± 8 cm). La position adoptée dans la condition 1.9 (19 ± 16 cm) se distinguait également significativement de celle adoptée dans les conditions 1.1 et 1.3. En l'absence de cabine, l'analyse n'a révélé aucune différence entre les conditions. Les participants ont adopté une position absolue moyenne de 22 ± 10 cm.

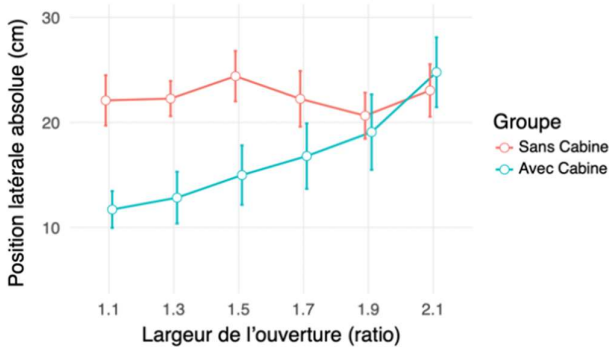


Figure 1 : Position latérale absolue adoptée par les participants dans les groupes avec et sans cabine virtuelle en fonction de la largeur de l'ouverture (les barres représentent l'erreur-type).

3.3. Collisions

La fréquence des collisions était significativement plus élevée en l'absence de cabine lorsque la largeur d'ouverture était d'un ratio de 1.1 ($p < .001$) et de 1.3 ($p < .001$), mais pas lorsqu'elle était d'un ratio de 1.5 et au-delà (où le nombre de collisions était rare).

4. DISCUSSION

Dans la présente étude, nous avons analysé les adaptations comportementales mises en œuvre par des participants engagés dans une tâche de franchissement d'ouverture réalisée dans un simulateur de conduite présentant ou non une cabine virtuelle représentant le gabarit du véhicule.

Dans cette tâche à fortes contraintes spatiales, les participants ont réduit leur vitesse indistinctement en présence et en l'absence de cabine pour franchir les deux ouvertures les plus étroites, probablement afin d'allouer plus de temps au système perceptivo-moteur pour produire une réponse adaptée (Wilmut & Barnett, 2010). Les différences de position latérale adoptée en présence et en l'absence de cabine qui sont discutées ci-après ne peuvent donc être dues à différents niveaux de contraintes spatio-temporelles relevant d'une régulation différente de la vitesse.

L'analyse du contrôle latéral a montré de fortes différences dans les positions latérales adoptées par les participants en présence et en l'absence de cabine au moment du franchissement. En présence d'une cabine, les participants ont adapté leur position latérale à la largeur de l'ouverture en réduisant la distance séparant le centre du véhicule du centre de l'ouverture. En l'absence de cabine, les participants ont franchi l'ouverture avec une position latérale qui n'était pas influencée par sa largeur. En conséquence de cette inadaptation, un nombre significativement plus élevé de collisions a été observé en l'absence de cabine dans les deux ouvertures les plus étroites. Il ressort donc que les participants ont ajusté leur comportement en relation avec les contraintes spatiales de l'ouverture uniquement lorsqu'ils disposaient des informations visuelles émanant de la cabine du véhicule.

En conclusion, cette étude suggère que l'emploi d'un simulateur de conduite dépourvu de cabine peut induire des mesures de contrôle latéral non fiables pour examiner les comportements de conduite dans des situations où l'appréhension des contraintes spatiales est cruciale. Pour cette raison, il est recommandé d'ajouter une cabine à l'échelle 1 dans l'environnement virtuel pour mener des études avec un simulateur de conduite à bas coût. Une telle mesure permettrait d'augmenter la validité des comportements recueillis à budget constant, et de favoriser le transfert de la simulation à la conduite réelle en préservant la calibration perceptive de la relation véhicule-environnement.

5. BIBLIOGRAPHIE

Fajen, B. R. (2021). *Visual Control of Locomotion*. Cambridge University Press.

Lepecq, J. C., Bringoux, L., Pergandi, J. M., Coyle, T., & Mestre, D. (2009). Afforded actions as a behavioral assessment of physical presence in virtual environments. *Virtual Reality*, 13(3), 141-151.

Mecheri, S., Rosey, F., & Lobjois, R. (2017). The effects of lane width, shoulder width, and road cross-sectional reallocation on drivers' behavioral adaptations. *Accident Analysis & Prevention*, 104, 65-73.

Mestre, D. R., Louison, C., & Ferlay, F. (2016). The contribution of a virtual self and vibrotactile feedback to walking through virtual apertures. In Human-Computer Interaction: 18th International Conference, HCI International 2016, Toronto, Canada. Proceedings, Part II 18 (pp. 222-232).

Stoffregen, T. A. (2003). Affordances as Properties of the Animal-Environment System. *Ecological Psychology*, 2(3), 207-249.

Warren J. W. H., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 371-383.

Wilmut, K., & Barnett, A. L. (2010). Locomotor adjustments when navigating through apertures. Human Movement Science, 29(2), 289-298.

Réalité virtuelle et présence : Quels impacts pour l'utilisateur ?

Isabelle Milleville-Pennel
Central Nantes, Nantes Université, CNRS, LS2N UMR 6004, F-44000 Nantes isabelle.milleville@ls2n.fr

RÉSUMÉ

La réalité virtuelle connait des développements dans de très nombreux domaines (médecine, recherche, formation, …). Cette technologie permet d'induire chez l'utilisateur le sentiment de se trouver dans un autre lieu que celui où il est physiquement localisé (sentiment de présence). Ainsi, en se substituant à la réalité, la réalité virtuelle agit, à l'instar de celle-ci, sur les processus perceptifs et cognitifs de l'utilisateur pouvant induire des adaptations cognitives et comportementales. Ces dernières ne se limitent pas au virtuel et se répercutent, au moins partiellement, dans la réalité, parfois durablement. En témoigne, par exemple, le succès du traitement des phobies via la réalité virtuelle. Si cela permet de formidables progrès, cela implique néanmoins de mesurer pleinement la portée de cette technologie et d'en poser les limites dans un cadre éthique.

MOTS-CLÉS

Réalité virtuelle, Présence, Éthique, Vécu psychologique, Transfert

1. INTRODUCTION

Le sentiment de présence est une mesure subjective permettant d'estimer l'impact de l'immersion dans un Environnement Virtuel (EV). La présence peut être définie comme une expérience binaire, au cours de laquelle la perception de la localisation de soi et des possibilités d'actions est liée à un environnement spatial médiatisé. De même, les fonctions mentales sollicitées sont liées à cet environnement (Wirth et al., 2007). Le sentiment de présence est multifactoriel (Figure 1). Il dépend de facteurs technologiques, liés aux moyens d'immersion et de simulation utilisés (outils d'interaction, qualité du réalisme visuel, …), autant que de facteurs individuels (niveau de stress, sensibilité au mal des simulateurs, expérience, attentes, …) et cognitifs (notamment attentionnels). Ainsi des modèles comme ceux de Wirth et al. (2007) mettent l'accent sur l'importance de l'attention dans les premières étapes de la construction d'une représentation mentale égocentrée de l'EV et des actions qui y sont possibles. D'autres modèles insistent sur l'importance de l'arousal émotionnel dans la génération du sentiment de présence (Diemer et al., 2015) favorisant de fait la focalisation attentionnelle vers les informations sensorielles en provenance de l'EV.

Induire Le sentiment de présence peut avoir des répercussions fortes sur l'individu, puisque la Réalité Virtuelle (RV) va alors prendre le pas sur le monde réel tout en sollicitant, au moins partiellement, les mêmes processus perceptifs et cognitifs que la réalité. On peut alors se demander jusqu'à quel point ces répercussions peuvent induire des modifications durables chez l'individus et si ces dernières sont transférables à la réalité.

Dans la suite de ce document nous allons considérer les différents impacts possibles que la RV pourrait avoir sur l'utilisateur : comportementaux, physiologiques et psychologiques.

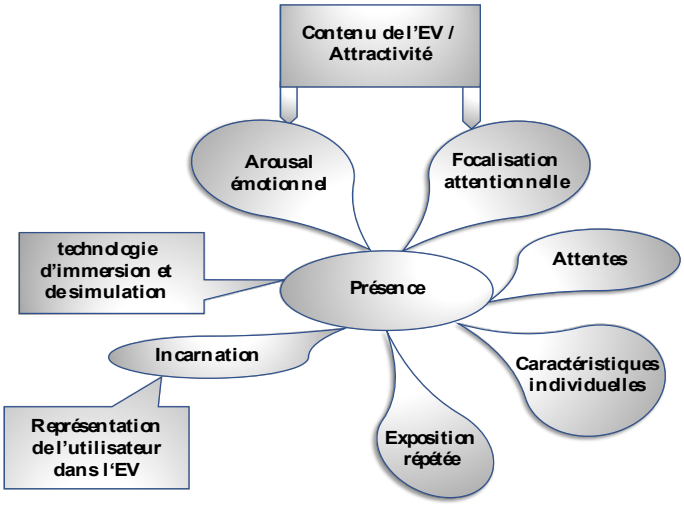


Figure 1 : Les facteurs de présence.

2. TRANSFERT DE LA RV A LA REALITE

2.1. Impacts comportementaux

Un des apports les plus connus de la RV réside dans le développement d'environnements dédiés à l'apprentissage en aéronautique et en conduite automobile (Casutt et al., 2014). De nombreux exemples de dispositifs d'apprentissage sont également disponibles dans le domaine médical (Mao et al., 2021) ou plus généralement concernant l'apprentissage de procédures (Grassini et al., 2020). L'ensemble de ces travaux tend à démontrer que les environnements virtuels ainsi développés permettent des apprentissages effectifs et parfois de qualité quasi-équivalente à un apprentissage dispensé dans la réalité. Les montées en compétences se traduisent aussi bien au niveau perceptif (prise d'informations sensorielles) que procédural (manipulation des outils/actionneurs) et cognitif (apprentissage des règles d'action, mise en place de schémas de représentation de la situation, élaboration de stratégies d'action) et cela d'autant plus que le sentiment de présence est élevé (Grassini et al., 2020). Ces apprentissages sont ensuite, au moins en partie, transférables aux situations réelles concernées, permettant ainsi un gain de temps tout en maximisant la sécurité lors de l'apprentissage.

2.2. Impacts physiologiques

Nous n'aborderons pas ici la question du mal des simulateurs, qui est une réaction physiologique connexe indésirable parfois observée en simulation et qui sera abordée dans d'autres articles de ce symposium. Notre objectif étant de montrer la capacité de la RV à permettre l'émergence de réactions physiologiques souhaitées (volontairement induites par la nature du contenu de l'EV et les situations vécues) afin de se rapprocher au maximum de la réalité. Il est ainsi possible d'induire des réponses physiologiques consécutives aux réactions émotionnelles provoquées par des évènements survenant dans un EV. Une version virtuelle de l'étude de Milgram menée par Slater et al. (2006) montre, par exemple, qu'il est possible d'induire des réactions physiologiques d'anxiété chez des personnes confrontées à la souffrance d'un avatar (modification du rythme cardiaque, de l'activité électrodermale, etc.).

On peut également observer des réactions physiologiques en lien direct avec l'appropriation du corps virtuel (processus d'incarnation souvent associé au sentiment de présence). Un très bon exemple en a été donné par Yuan et Steed, (2010). Les auteurs ont reproduit la célèbre *Rubber hand*

illusion (Botvinick et Cohen, 1998) en réalité virtuelle. Dans l'étude de Yuan et Steed (2010), l'illusion reposait sur une assimilation perceptive entre une stimulation tactile sur un membre réel et sur sa contrepartie fictive présentée visuellement par le biais de la réalité virtuelle. Une fois le processus d'assimilation enclenché, les auteurs ont montré qu'une atteinte du membre virtuel déclenchait une réaction physiologique chez le participant (réponse galvanique de la peau). Avec un paradigme similaire, Slater et al. (2008) ont montré que stimuler le bras virtuel et le bras réel d'un participant de façon synchrone induisait la perception d'un positionnement du bras réel vers le bras stimulé. Déplacer ensuite uniquement le bras virtuel se traduisait par une activation EMG dans le bras réel. La récente étude de Raz et al. (2020) indique que ce processus d'appropriation du corps virtuel traduit l'activation de processus de traitement sensori-moteurs de haut niveau. Comme en témoigne l'influence de la manipulation de différents facteurs d'incarnation en RV sur les patterns d'activation EEG observés au niveau des foyers de neurones miroirs frontaux et pariétaux, ces derniers étant tout particulièrement impliqués dans l'expérience multimodale du soi. Ainsi, dans une certaine mesure, une atteinte au corps virtuel, via le processus d'incarnation, peut être perçue par le système nerveux central comme une atteinte au corps réel.

2.3. Impacts psychologiques

L'impact de la RV sur l'individu peut également se mesurer sur le plan psychologique. La première évidence nous en est donnée par les travaux présentés dans la section précédente. Si un EV peut induire des réactions physiologiques en lien avec l'activation émotionnelle, c'est bien parce que ces environnements peuvent être vecteurs d'émotions. Si cet impact est supposé se limiter à l'EV, de nombreux travaux montrent que cela peut aller en réalité au-delà et se répercuter sur la vie réelle à travers, par exemple, la modification des normes et des valeurs sociales sur un plus ou moins long terme. Ainsi, Yee & Bailenson (2006) ont constaté que les stéréotypes négatifs à l'égard des personnes âgées étaient considérablement réduits lorsque des participants incarnaient des avatars de personnes âgées par rapport aux participants incarnant des personnes jeunes. Une étude plus récente de Barberia et al. (2018) montre qu'une immersion répétée dans un EV (chaque jour durant une semaine), associée à un niveau élevé de présence, peut induire une modification des représentations personnelles. Dans cette étude les participants incarnaient des personnes imaginaires, d'apparence assez différente de la leur et vivant dans un monde fictif. Sans se connaître, ils partageaient le mode de vie et les coutumes de ce monde mais aussi l'expérience du vieillissement, puis de la mort et du deuil. Suite à cette étude, les participants déclarent avoir changé leur vision de la mort mais aussi leur rapport aux autres, devenant plus préoccupés par les autres et plus intéressés par des questions en lien avec le sens de la vie plutôt que matérielles.

La mise en situation dans un EV peut également permettre d'induire l'activation de processus cognitifs plus complexes avec des conséquences observables sur le long terme. La meilleure démonstration que l'on puisse en avoir concerne le grand succès rencontré par la RV dans le traitement des troubles psychiatriques. Par exemple, la mise en place de thérapies cognitivo-comportementales via la RV s'est avérée très efficace dans le traitement des phobies. En augmentant notamment le seuil de l'anxiété et en maximisant le sentiment de présence, cette technique entraîne une réduction durable de l'incidence des situations de crise dans la réalité (Donnelly et al, 2021).

3. CADRAGE ETHIQUE ET CONCLUSION

Nous voyons que l'usage de la RV peut entrainer un sentiment de présence très élevé. L'émergence de ce sentiment est plus que souhaitable, puisqu'il fait partie des mécanismes qui favorisent la survenue d'adaptations physiologiques, perceptives et comportementales, ainsi que d'apprentissages (modification des représentations et modèles d'actions) mais aussi dans certains cas extrêmes, une modification des schémas de pensée (valeurs morales, normes sociales, etc.). Jusqu'à

présent, à notre connaissance, dans le domaine de la recherche, cela n'a été testé que de façon à observer des impacts positifs, comme par exemple, la diminution des préjugés (liés à l'âge, aux aprioris sexuels ou raciaux). Malheureusement, la même méthodologie pourrait être utilisée à des fins moins louables. L'étude menée par Slater et al. (2006) montre, par exemple, qu'il est possible d'induire des réactions physiologiques d'anxiété chez des personnes confrontées à la souffrance d'un avatar. Qu'adviendrait-il si de tels études étaient couplées à des techniques de désensibilisation telles que celles utilisées pour le traitement des phobies en RV ? L'idée n'est pas ici de démontrer que la RV est dangereuse et qu'il faut l'interdire. Elle permet, bien au contraire, de fabuleux progrès dans de nombreux domaines (médecine, formation, ingénierie) et les différents travaux cités dans ce document attestent tous de résultats très positifs. Cependant, il est également important d'amener à la conscience que les effets positifs observés, parce que résultants de travaux menés par des chercheurs présentant un véritable sens de l'éthique, pourraient tous avoir une contrepartie négative. Les chercheurs en RV doivent donc être conscients de ces possibilités et s'en prémunir mais ont aussi un devoir d'information et de formation.

4. BIBLIOGRAPHIE

Barberia, I., Oliva, R., Bourdin, P., Slater, M. (2018). Virtual mortality and near-death experience after a prolonged exposure in a shared virtual reality may lead to positive life-attitude changes. *PLoS ONE 13(11)*. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203358

Botvinick, M., Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature **391***,756. https://doi.org/10.1038/35784

Casutt, G., Theill, N., Martin, M., Keller, M. & Jäncke, L. (2014). The drive-wise project: driving simulator training increases real driving performance in healthy older drivers. *Frontiers in aging neuroscience* vol. (6)85. DOI: 10.3389/fnagi.2014.00085

Diemer, J., Alpers, G.W. , Peperkorn, H.M. , Shiban, Y. & Mühlberger, A. (2015). The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality. *Frontiers in Psychology (6)*. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00026

Donnelly, M. R., Reinberg, R., Ito, K. L., Saldana, D., Neureither, M., Schmiesing, A., Jahng, E., & Liew, S.-L. (2021). Virtual reality for the treatment of anxiety disorders: A scoping review. *American Journal of Occupational Therapy, 75*, 7506205040. https://doi.org/10.5014/ajot.2021.046169

Grassini S, Laumann K and Rasmussen Skogstad M (2020) The Use of Virtual Reality Alone Does Not Promote Training Performance (but Sense of Presence Does). *Front. Psychol. 11:1743*. doi: 10.3389/fpsyg.2020.017

Mao, R.Q., Lan, L., Kay, J., Lohre, R., Ayeni, O.R., Goel, D.P., *et al.* (2021). Immersive virtual reality for surgical training: a systematic review *J. Surg. Res., 268*, pp. 40-58. https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.06.045

Raz, G., Gurevitch, G., Vaknin, T., Aazamy, A., Gefen, I., Grunstein, S., Azouri, G., Goldway, N. (2020). Electroencephalographic evidence for the involvement of mirror-neuron and error-monitoring related processes in virtual body ownership. *Neuroimage, 207*, p. 116351. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116351

Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H.H., Sanchez-Vives, M.V. (2008). Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Front Hum Neurosci.*, 20, 2:6. doi: 10.3389/neuro.09.006.2008

Slater, M., Antley, A., Davison, A., Swapp, D., Guger, C., Barker, C., et al. (2006). A Virtual Reprise of the Stanley Milgram Obedience Experiments. *PLoS ONE 1(1)*: e39. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000039

Wirth, W., Hartmann, T., Böcking, S., Vorderer, P., Klimmt, C. et al. (2007) A Process Model of the Formation of Spatial Presence Experiences, *Media Psychology,* 9:3, 493-525, DOI: 10.1080/15213260701283079

Yee, N., & Bailenson, J.N. (2006). Walk a mile in digital shoes: The impact of embodied perspective-taking on the reduction of negative stereotyping in immersive virtual environments. *Proceedings of PRESENCE 2006: The 9th Annual International Workshop on Presence*. August 24 – 26, Cleveland, Ohio, USA.

Yuan, Y. &. Steed, A. (2010). Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality? *IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, Boston, MA, USA, pp. 95-102, doi: 10.1109/VR.2010.5444807

Mesurer le sentiment d'incarnation d'un utilisateur envers son avatar en Réalité Virtuelle : Limitations et nouvelles méthodes.

Rebecca Fribourg[1]

[1] Laboratoire AAU – équipe CRENAU, Ecole Centrale de Nantes

rebecca.fribourg@ec-nantes.fr

RÉSUMÉ

La Réalité Virtuelle (RV) permet aux utilisateurs de s'immerger dans un monde virtuel dans lequel ils peuvent être représentés par un corps virtuel aussi appelé « avatar ». Le sentiment d'incarnation des utilisateurs envers leur avatar (i.e. à quel point ils ont l'impression de posséder, de contrôler et d'être spatialement dans leur corps virtuel) a une influence sur l'immersion, la présence sociale et le comportement des utilisateurs en RV. La présentation abordera en quoi mesurer le sentiment d'incarnation est un vrai défi de par les limitations des questionnaires subjectifs communément utilisés, et la difficulté de manipulation de mesures objectives.

MOTS-CLÉS

Réalité Virtuelle, Avatar, Incarnation, Perception, Etudes Utilisateurs.

1. INTRODUCTION

Obtenir un avatar entièrement fonctionnel en Réalité Virtuelle (RV) est un véritable défi en raison des limitations techniques (rendu 3D, contrôle du corps virtuel, etc.), mais aussi parce qu'il est difficile de comprendre les processus sous-jacents à la perception des avatars. En effet, pour que les utilisateurs interagissent de manière réaliste avec la RV par le biais de leur avatar, il est nécessaire qu'ils "fassent corps" avec lui, et qu'ils aient le sentiment de posséder et de contrôler ce corps virtuel. Cette expérience du corps virtuel est communément caractérisée par le Sentiment d'Incarnation (SI) (Kilteni et al., 2012) et est largement étudié afin d'évaluer comment les utilisateurs perçoivent leur avatar et dans quelle mesure ils acceptent ou rejettent leur corps virtuel. Ces dernières années, de nombreuses études ont tenté de mieux caractériser et d'étudier le SI dans la RV afin de mieux évaluer la façon dont les utilisateurs perçoivent leur avatar virtuel. En 2012, Kilteni et al. (2012) ont introduit une décomposition du SI en trois sous-composantes respectives et distinctes : le sentiment de localisation de soi, le sentiment d'agentivité et le sentiment de propriété. Cette décomposition a depuis été largement utilisée pour mieux comprendre comment les utilisateurs perçoivent leur avatar. Néanmoins, l'étude du SI est un défi en raison de la difficulté de mesurer un sentiment subjectif. En effet, le SI est un quale (c'est-à-dire une qualité ou une propriété telle que perçue ou expérimentée par une personne), ce qui le rend difficile à évaluer. Pour cette raison, il a été nécessaire d'explorer les possibilités existantes pour mesurer et évaluer le SI, dans le contexte des études utilisateur.

2. MESURES DU SENTIMENT D'INCARNATION

2.1. Mesures Subjectives du Sentiment d'Incarnation

Étant donné qu'il s'agit d'une expérience subjective, le premier moyen, et le plus courant, d'évaluer le SI des utilisateurs est l'utilisation de questionnaires subjectifs. Plus précisément, les études précédentes sur l'incarnation en RV ont adapté des questionnaires individuels à partir d'expériences originales menées dans le monde physique, telles que l'expérience de la main en caoutchouc (Botvinick & Cohen, 1998; Longo et al., 2008). Pourtant, il n'y a longtemps pas eu de questionnaire validé, ravivant l'intérêt des chercheurs pour la conception d'un tel questionnaire standardisé. C'est ce qu'ont d'abord souligné Gonzalez-Franco et Peck (2018) qui ont identifié un ensemble de questions qu'ils ont organisées en six catégories différentes : la propriété du corps, l'agentivité et le contrôle moteur, les sensations tactiles, la localisation du corps, l'apparence externe et la réponse aux stimuli externes. Une validation de leur questionnaire a été publiée plus récemment (Peck & Gonzalez-Franco, 2021) tandis que d'un autre côté, Roth et Latoschik (2020) ont de leur côté aussi cherché à fournir un questionnaire standardisé pour la mesure du SI suivant d'autres catégories, rendant aujourd'hui le choix difficile dans le questionnaire à utiliser pour la mesure du SI. En effet, à ce jour, rien ne suggère qu'un des questionnaires soit plus efficace que l'autre.

Par ailleurs, l'utilisation des questionnaires subjectifs est de plus en plus contestée car elle dépend de la compréhension par les utilisateurs eux-mêmes, qui peut être influencée par de nombreuses différences internes entre les utilisateurs (Jahedi & Méndez, 2014; Slater, 2004). En outre, une autre préoccupation concernant les questionnaires subjectifs a été soulevée par Insko (2003) à propos de l'étude de la présence dans la RV, soulignant que parce qu'ils sont post-immersion, ils ne mesurent pas l'impact potentiel du temps sur la présence subjective ni les influences potentielles des événements pendant l'expérience. Pour cette raison, d'autres recherches ont eu tendance à explorer des alternatives pour évaluer cette perception du corps virtuel, comme l'utilisation de mesures objectives.

2.2. Mesures Objectives du Sentiment d'Incarnation

Les premières études explorant les mesures objectives du SI ont été menées en dehors de la RV, dans le cadre des études de la main en caoutchouc. Par exemple, l'observation du déplacement proprioceptif de la main de l'utilisateur vers la main en caoutchouc s'est avérée être corrélée à un sentiment élevé de possession de la main en caoutchouc (Longo et al., 2008). Cette mesure a été utilisée par la suite dans le contexte de l'incarnation virtuelle, comme dans les travaux de Sanchez-Vives et al. (2010). En outre, les changements comportementaux se sont également révélés exploitables en tant que mesure objective du SI par Kilteni et al. qui ont montré que les personnes ayant un SI plus élevé présentaient des changements comportementaux élevés (Kilteni et al., 2013). Plus précisément, ils ont mené une étude dans laquelle les participants jouaient du tambour à main en RV tout en étant incarnés dans un avatar virtuel dont la représentation était modulée. Il est intéressant de noter que dans une représentation de l'avatar, les participants ont montré une augmentation significative de leurs schémas de mouvement pour jouer du tambour par rapport aux autres représentations, et il a été constaté que plus le sentiment de propriété de l'avatar était fort dans cette représentation, plus ce changement de comportement était important. Par ailleurs, des recherches récentes ont également exploré le potentiel des techniques de mesures de signaux du cerveau telles que l'électroencéphalogramme de surface (EEG) comme mesure du SI, et ont mis en évidence l'existence de marqueurs neurophysiologiques (Jeunet et al., 2018) corrélés au sentiment d'agentivité. Néanmoins, la mesure objective la plus courante du SI reste à ce jour la réponse à une menace virtuelle envers l'avatar.

En effet, l'introduction d'une menace est devenue un moyen populaire d'évaluer si les utilisateurs sont bien incarnés dans leur avatar. Dans un tel contexte, les menaces peuvent prendre plusieurs formes, comme celle d'un objet pointu vers le corps virtuel. Cette pratique repose sur l'affirmation selon laquelle si les utilisateurs réagissent à une menace virtuelle envers leur corps virtuel,

ils doivent avoir un fort sentiment d'incarnation à son égard. En effet, plusieurs études ont montré que le sentiment d'appartenance à l'égard d'un corps était lié à une réponse affective accrue à une menace envers ce corps (Yuan & Steed, 2010; Zhang & Hommel, 2016). Les premières études explorant la relation entre la possession d'un corps et la réponse à la menace étaient basées sur l'expérience de la main en caoutchouc. Armel et Ramachandran (2003) ont été parmi les premiers à montrer que la réponse à une menace envers une main en caoutchouc était liée à l'assimilation de la main en caoutchouc comme faisant partie de sa propre image corporelle. La réponse à la menace était dans ce cas évaluée par la réponse de conductance de la peau (SCR), par exemple, si la main en caoutchouc était "blessée", les participants présentaient une conductance de la peau plus élevée.

Yuan et Steed (2010) ont été parmi les premiers à transposer la main en caoutchouc en RV et par la même occasion les premiers à utiliser le SCR comme mesure de l'appropriation lorsqu'une menace est introduite. Ma et Hommel (2013) ont cependant remis en question leurs résultats en ce sens qu'ils ne considèrent pas qu'ils ont réussi à prouver que le SCR à la menace était lié à l'appropriation, car on peut avoir une résonance affective similaire quand quelqu'un d'autre est blessé. Ils (Ma & Hommel, 2013) ont également montré dans leur propre étude que si la réponse à un impact non dangereux était liée au sentiment de propriété, la réponse à une menace semblait être indépendante du sentiment de propriété, ce qui est en contradiction avec d'autres recherches utilisant le SCR à la menace comme une mesure objective de la propriété (Hägni et al., 2008; Zhang et al., 2015).

L'introduction de la menace dans les études d'incarnation a donc déjà été largement utilisée comme mesure objective du SI pendant plusieurs années. Pourtant, aucune recherche n'avait été menée pour évaluer l'effet réel de l'introduction d'une menace virtuelle sur les mesures subjectives du SI. En effet, bien que la réponse à une menace virtuelle soit utilisée comme mesure de la SI, elle n'avait jamais été considérée comme un effet d'influence possible. Fribourg et al. (Fribourg et al., 2021) ont toutefois exploré cette question dans une expérience s'intéressant notamment à l'introduction répétée de dangers virtuels. Ils ont montré que l'introduction d'un danger virtuel, répétée ou non, n'influençait pas les mesures subjectives de l'incarnation virtuelle, et pouvait donc être utilisée sans risque à cette visée.

3. VERS D'AUTRES METHODES POUR MESURE LE SENTIMENT D'INCARNATION ET CONCLUSION

Les mesures du SI présentées dans les sections précédentes ont permis à un certain nombre d'études d'évaluer l'influence de l'apparence de l'avatar, du contrôle de l'avatar et du point de vue de l'utilisateur sur le SI envers un avatar virtuel. Cependant, ces méthodes ne permettent en général d'explorer chaque facteur que de manière isolée. Dans leur expérience, Fribourg et al. (Fribourg et al., 2020) ont cherché à mieux comprendre les interrelations entre ces trois facteurs en utilisant une méthode d'appariement subjectif. Les participants devaient retrouver un sentiment d'incarnation élevé ressenti dans une configuration d'avatar optimale (avatar réaliste, capture de mouvements du corps entier, point de vue à la première personne), en commençant par une configuration minimale (avatar minimal, aucun contrôle, point de vue de la troisième personne), et en augmentant itérativement le niveau de chaque facteur. Les choix des participants donnent un aperçu de leurs préférences et de leur perception des trois facteurs considérés. De plus, la procédure d'appariement subjectif a été menée dans le cadre de quatre tâches d'interaction différentes dans le but de couvrir un large éventail d'actions qu'un utilisateur peut effectuer à travers un avatar dans un environnement virtuel. Les résultats de l'expérience montrent que les niveaux de point de vue et de contrôle ont été constamment augmentés par les utilisateurs avant les niveaux d'apparence lorsqu'il s'agit d'améliorer l'incarnation. Ensuite, plusieurs configurations ont été identifiées avec des sentiments d'incarnation équivalents à celui ressenti dans la configuration optimale, mais qui varient entre les tâches. Tandis que cette étude montre le potentiel d'une autre méthode pour mesurer la perception d'un utilisateur

envers son avatar en RV, d'autres études s'intéressent dernièrement à la possibilité non plus seulement de mesurer le SI, mais aussi de pouvoir le « prédire ». Dans leur étude, Dewez et al. (2019) ont cherché des liens entre traits de personnalité et SI, dans le but de pouvoir dans le futur, prédire à l'avance en fonction des traits de personnalité d'un utilisateur, si celui-ci va bien s'incarner dans son avatar, et autrement, essayer de comprendre comment adapter l'avatar pour optimiser le SI. Ces études ouvrent la fenêtre à de futures recherches permettant d'explorer des mesures plus efficaces du SI envers un avatar en RV en prenant en compte le contexte (e.g. la tâche effectuée en RV) mais aussi les différences individuelles des utilisateurs. Améliorer la mesure du sentiment d'incarnation pourra avoir des retombées positives dans de nombreuses applications impliquant des avatars (formation, rééducation motrice, thérapies psychologiques, etc.).

4. BIBLIOGRAPHIE

Armel, K. C., & Ramachandran, V. S. (2003). Projecting sensations to external objects : Evidence from skin conductance response. *Proceedings. Biological Sciences*, *270*(1523), 1499-1506.

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands « feel » touch that eyes see. *Nature*, *391*(6669), 756-756.

Dewez, D., Fribourg, R., Argelaguet, F., Hoyet, L., Mestre, D., Slater, M., & Lécuyer, A. (2019). Influence of Personality Traits and Body Awareness on the Sense of Embodiment in Virtual Reality. *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 123-134.

Fribourg, R., Argelaguet, F., Lécuyer, A., & Hoyet, L. (2020). Avatar and Sense of Embodiment : Studying the Relative Preference Between Appearance, Control and Point of View. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *26*(5), 2062-2072.

Fribourg, R., Blanpied, E., Hoyet, L., Lécuyer, A., & Argelaguet, F. (2021). Does virtual threat harm VR experience? : Impact of threat occurrence and repeatability on virtual embodiment and threat response. *Computers & Graphics*, *100*, 125-136.

Gonzalez-Franco, M., & Peck, T. C. (2018). Avatar embodiment. Towards a standardized questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, *5*, 74.

Hägni, K., Eng, K., Hepp-Reymond, M.-C., Holper, L., Keisker, B., Siekierka, E., & Kiper, D. C. (2008). Observing Virtual Arms that You Imagine Are Yours Increases the Galvanic Skin Response to an Unexpected Threat. *PLOS ONE*, *3*(8), 1-6. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003082

Insko, B. E. (2003). (p. 109-119). IOS Press.

Jahedi, S., & Méndez, F. (2014). On the advantages and disadvantages of subjective measures. *Journal of Economic Behavior and Organization*, *98*, 97-114.

Jeunet, C., Albert, L., Argelaguet, F., & Lécuyer, A. (2018). " Do you feel in control ? " : Towards Novel Approaches to Characterise, Manipulate and Measure the Sense of Agency in Virtual Environments. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *24*(4), 1486-1495.

Kilteni, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in Immersive Virtual Reality : The Body Shapes the Way We Play. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *19*(4), 597-605.

Kilteni, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, *21*(4), 373-387.

Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., & Haggard, P. (2008). What is embodiment ? A psychometric approach. *Cognition*, *107*(3), 978-998.

Ma, K., & Hommel, B. (2013). The virtual-hand illusion : Effects of impact and threat on perceived ownership and affective resonance. *Frontiers in Psychology*, *4*, 604.

Peck, T., & Gonzalez-Franco, M. (2021). Avatar Embodiment. A Standardized Questionnaire. *Frontiers in Virtual Reality*, *1*. https://doi.org/10.3389/frvir.2020.575943

Roth, D., & Latoschik, M. E. (2020). Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *26*(12), 3546-3556.

Sanchez-Vives, M. V., Spanlang, B., Frisoli, A., Bergamasco, M., & Slater, M. (2010). Virtual Hand Illusion Induced by Visuomotor Correlations. *PLOS ONE*, *5*(4), 1-6.

Slater, M. (2004). How Colorful Was Your Day ? Why Questionnaires Cannot Assess Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *13*(4), 484-493.

Yuan, Y., & Steed, A. (2010). Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality? *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, 95-102.

Zhang, J., & Hommel, B. (2016). Body ownership and response to threat. *Psych. Res.*, *80*(6), 1020-1029.

Zhang, J., Ma, K., & Hommel, B. (2015). The virtual hand illusion is moderated by context-induced spatial reference frames. *Frontiers in psychology*, *6*, 1659-1659.

COMMUNICATIONS ORALES

3 Communications Longues (= CL)

CL : *Exploration de l'expérience vécue pour l'analyse d'événements aériens graves : le cas des enquêtes de sécurité pour l'aéronautique d'État.*

Damien Morisson[1], Anthony Vacher[1], Léonore Bourgeon[1], Mandy Lambert[2], Vincent Boccara[3]

1 : Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Place G[al] Valérie André, 91220 Brétigny-sur-Orge

damien.morisson@intradef.gouv.fr

2 : Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État, 78140 Villacoublay

mandy.lambert@intradef.gouv.fr

3 : Université Paris-Saclay, CNRS, LISN, 91400 Orsay

vincent.boccara@universite-paris-saclay.fr

RÉSUMÉ

Objectif. Après un événement grave (accident ou incident grave) impliquant un aéronef, une enquête de sécurité est systématiquement conduite dans le but unique d'éviter que des événements similaires ne se reproduisent. Dès le début de l'enquête, des entretiens sont menés auprès des membres d'équipage impliqués afin de recueillir des informations permettant de comprendre les causes de l'événement. L'objectif de cette étude est d'explorer la capacité des enquêteurs à recueillir des informations permettant d'accéder au vécu subjectif des membres d'équipage impliqués. ***Cadre théorique***. Les travaux en psychologie ergonomique ont montré l'intérêt du recueil de l'expérience vécue pour la compréhension des liens entre l'activité et la situation (Cahour et al., 2016). Des méthodes d'entretien ont été développées en ce sens, comme l'entretien d'explicitation (Vermersch, 2010) et d'auto-confrontation (Theureau, 2006). Des techniques inspirées de ces méthodes sont enseignées aux enquêteurs pour placer les personnes interrogées en posture d'évocation, mais leur utilisation effective n'a pas été évaluée. ***Méthode***. Les enregistrements de 17 entretiens menés par 8 enquêteurs à la suite d'un événement aérien grave ont été analysés. L'utilisation d'une technique de remise en évocation par les enquêteurs a été recherchée lorsque les interrogés perdaient la posture d'évocation. ***Résultats***. Sur les 120 occurrences où les interrogés ont perdu la posture d'évocation, les enquêteurs n'ont majoritairement pas réagi (N = 87 ; 72,5 %), ou bien leur intervention ne s'apparentait pas à une technique de mise en évocation (N = 28 ; 23,3 %). Seules 5 occurrences (4,2 %) ont été suivies d'une consigne d'évocation, dont une sans effet sur l'interrogé. ***Discussion, perspectives***. Les enquêteurs ne cherchent activement à replacer la personne interrogée en posture d'évocation que dans une minorité de cas, ce qui peut s'interpréter de plusieurs manières : non-détection du changement de posture de l'interrogé, absence de maitrise des consignes d'évocation, ou intérêt pour des informations autres que l'expérience vécue de l'opérateur. Les résultats de notre étude ont conduit à des changements dans la formation des enquêteurs et la création d'un dispositif de réflexivité au sein du Bureau en charge des enquêtes de sécurité aérienne étatique.

MOTS-CLÉS

Accident aérien, entretiens, expérience vécue, facteurs organisationnels et humains, méthodes d'investigation

1. INTRODUCTION

Cette communication présente une recherche exploratoire sur l'activité des enquêteurs du Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É), organisme dont la fonction est de conduire des enquêtes de sécurité après un événement grave (accident ou incident grave) impliquant un aéronef d'État. Les enquêtes de sécurité sont destinées à apporter une

compréhension de l'événement grave et à émettre des recommandations pour prévenir sa répétition. Dans les premiers jours d'enquête, des entretiens sont réalisés par les enquêteurs auprès des opérateurs impliqués. Notre étude investigue la manière dont ces enquêteurs parviennent à recueillir l'expérience vécue des opérateurs.

1.1. Place des entretiens dans les enquêtes de sécurité sur des événements graves

Au sein des systèmes sociotechniques complexes et à risque ayant atteint une performance de sécurité élevée, les facteurs organisationnels et humains (FOH) sont au premier plan des causes d'événements (Amalberti, 2001). Les événements graves survenant au sein de l'aéronautique d'État n'échappent pas à ce constat. Selon le BEA-É (2021), sur les 291 enquêtes conduites durant la période 2003-2020, au moins une cause relevant du domaine des facteurs humains (FH) et des facteurs organisationnels (FO) est retrouvée respectivement dans 87 % et 60 % des événements. La compréhension des causes possibles relevant des FOH est un enjeu majeur dans les enquêtes de sécurité et pour la sécurité aérienne.

Les travaux sur la prise en compte des FOH dans les enquêtes de sécurité se concentrent principalement sur les modèles et méthodes d'analyse d'accidents (Lundberg et al., 2009). Ceux-ci négligent la phase de recueil d'information dans les suites immédiates de l'événement auprès des opérateurs impliqués, alors que l'importance cruciale de cette étape est soulignée (Salmon et al., 2011). L'étape de recueil d'information consiste pour les enquêteurs à recueillir de manière systématique toutes les données disponibles sur l'événement. Ils réalisent notamment des entretiens auprès des membres d'équipage survivants, des témoins et des parties-prenantes telles que les contrôleurs aériens, les collègues et l'encadrement (Strauch, 2002).

1.2. Intérêts des entretiens pour les enquêtes de sécurité

Les témoignages sur le déroulement et le contexte de l'événement, ainsi que les éventuels écarts entre ce qui était attendu de l'opérateur et son comportement effectif au moment de l'événement, sont des informations nécessaires et utiles mais non suffisantes en termes de prévention (Leveson, 2012 ; Dekker, 2004). Des informations doivent également être recueillies sur la dimension cognitive de l'activité des opérateurs afin de mieux comprendre les raisonnements sous-jacents à leurs décisions et actions pendant l'événement (Dekker, 2004).

2. CADRE THÉORIQUE

2.1. Méthodes d'entretien dans les enquêtes

Plusieurs techniques d'entretien proposées dans le cadre des enquêtes de sécurité s'inspirent plus ou moins directement de la *Critical Decision Method* (Klein et al., 1989), elle-même dérivée de la méthode des incidents critiques (Flanagan, 1954). La *Critical Decision Method* a été développée pour explorer les prises de décision successives au cours d'un événement critique. Dans un premier temps, l'enquêté est invité à décrire la chronologie des faits constitutifs de la situation et de préciser les moments de prise de décision. Puis dans un second temps, un entretien semi-directif est mené pour explorer chaque déterminant des prises de décision (Salmon et al., 2011). Cette méthode est bien adaptée au contexte des enquêtes de sécurité, et une version simplifiée est enseignée aux enquêteurs du BEA-É en formation initiale. Cependant, elle ne fournit pas de technique particulière pour approfondir le point de vue de l'opérateur impliqué dans l'événement.

Des guides d'entretien semi-dirigés ont également été proposés pour lister les thèmes à aborder lors d'un entretien dans une enquête de sécurité (Girard, 1995 ; Duncan et Klockner, 2020). Toutefois, en plus de leur caractère difficilement adaptable à la diversité des événements graves, les guides

d'entretien sont limités par le modèle d'accident sur lequel ils se fondent, selon le principe « *What-You-Look-For-Is-What-You-Find* » (Lundberg et al., 2009).

Dans le domaine judiciaire, un ensemble de techniques de recueil de témoignage a été proposé sous l'appellation de *cognitive interview* (Paulo et al., 2015), en mettant en application des connaissances en psychologie dans le domaine de la mémoire. Dans sa version la plus récente, appelée *enhanced cognitive interview*, huit techniques sont proposées pour améliorer le rappel mnésique du témoin et la fiabilité de son témoignage : le rappel exhaustif, la remise en contexte mnésique, le changement de perspective, le changement d'ordre chronologique, la posture d'écoute bienveillante, le transfert de la direction de l'entretien à l'interviewé, les relances non-inductives, et la diversification des modalités sensorielles du rappel mnésique. Ces techniques ont chacune montré leur efficacité pour augmenter la quantité ou la fiabilité des informations fournies, mais il n'a pas été établi de méthode pour les combiner ni pour guider leur utilisation qui est laissée à l'appréciation de l'enquêteur (Paulo et al., 2015). Enfin, ces techniques ont été développées, dans le cadre des enquêtes judiciaires, pour faciliter le rappel mnésique d'une personne impliquée dans un événement mais pas pour recueillir des informations sur la dimension cognitive de son activité en situation.

2.2. Méthodes d'entretien visant à recueillir l'expérience vécue

Plusieurs techniques d'entretien ont été développées en psychologie ergonomique et en ergonomie pour investiguer l'expérience vécue de sujets en activité. Les principales méthodes sont l'entretien d'explicitation (Vermersch, 2010) et l'entretien d'auto-confrontation (Thereau, 2006).

2.2.1. Entretien d'explicitation

S'inspirant des travaux de Piaget, Vermersch (2010) a développé une « psycho-phénoménologie » portant sur la prise de conscience et la verbalisation de l'expérience vécue. En plus des actions conscientes, il identifie un registre dit « pré-réfléchi » dans lequel les actions ne sont pas consciemment élaborées, mais sont vécues consciemment au moment de leur réalisation et accessible au rappel mnésique sous certaines conditions. Vermersch a ainsi proposé une méthode d'entretien fondée sur des techniques d'évocation et de relance pour permettre aux personnes d'expliciter leurs actions. Cette méthode repose sur des relances actives et non-inductives de l'interrogé, ainsi que sur des *consignes d'évocation*. Les consignes d'évocation visent à maintenir la personne interrogée dans une « *posture d'évocation* », c'est-à-dire resituée dans le contexte de l'événement tel qu'il a été vécu de son point de vue, et à inciter l'interrogé à réaliser un acte de réfléchissement pour prendre conscience et verbaliser les actions réalisées (Cahour et al., 2016).

Les consignes d'évocation permettent de placer l'interrogé en *posture d'évocation* de son expérience vécue. Cahour et al. (2016) distinguent cette posture de la *posture généralisante*, où l'information fournie consiste en des généralités voire en des reconstructions à partir de l'expérience et des connaissances de la personne. Par ailleurs, Vermersch (2010) note un troisième type de posture de la personne interrogée lorsqu'elle cesse de décrire le déroulement des faits pour émettre des *jugements* ou des *commentaires* ne décrivant pas les faits.

Le maintien de la personne en posture d'évocation et la finesse de la description de son activité accroissent la richesse et la validité du discours (Vermersch, 2010). En revanche, cette technique nécessite des années de pratique pour être bien maîtrisée (Zouinar & Cahour, 2013), et les entretiens d'explicitation peuvent être longs à mener s'ils portent sur un événement au cours duquel de nombreuses actions ont été effectuées, ce qui est le cas dans les événements graves en aéronautique. Enfin, le risque lié aux situations porteuses d'émotions de valence négative doit être pris en compte pour éviter de faire glisser le témoignage vers l'émotion (Faingold, 2013) et, surtout, pour ne pas aggraver la mémoire potentiellement traumatique d'un événement.

2.2.2. Entretien d'auto-confrontation

Lors des entretiens d'auto-confrontation, la personne interrogée est invitée à commenter une trace d'activité (généralement audio-visuelle). Theureau (2006) utilise cette méthode pour explorer le cours d'action, défini comme la part de l'activité d'un acteur donnant lieu à expérience et dont il peut témoigner si les conditions sont favorables. La trace d'activité sert ainsi de remise en situation dynamique pour favoriser l'évocation de l'expérience vécue. L'auto-confrontation vise principalement à se prémunir du risque de reconstruction *a posteriori* et d'oubli. Enfin, cette méthode utilise les mêmes techniques de relance et d'écoute que l'entretien d'explicitation, dont elle partage l'objectif de faire verbaliser

L'application de cette méthode est limitée par la disponibilité et la qualité de la trace d'activité choisie. De plus, l'emploi d'un enregistrement de l'activité peut interférer avec la remémoration et induire le vécu audio-visuel de la situation ; l'enquêteur doit donc bien connaitre ces difficultés et maitriser les techniques d'explicitation (Zouinar & Cahour, 2013).

3. PROBLÉMATIQUE

Plusieurs méthodes d'entretien ont été développées pour recueillir le témoignage d'une personne impliquée dans un événement grave, mais ces méthodes ne permettent pas toutes d'obtenir des informations permettant de faire le lien entre l'activité de l'opérateur et la situation. Pour réaliser ce lien, des informations doivent être recueillies sur la dimension cognitive de l'activité de l'opérateur en situation. Parmi ces informations, l'expérience vécue est une information potentiellement très riche car elle porte sur l'ensemble de ce qui est conscientisable par le sujet et non reconstruit si le recueil est réalisé avec certaines précautions (Cahour et al., 2016). C'est pourquoi notre étude a pour objectif d'explorer la capacité des enquêteurs à recueillir des informations sur le vécu subjectif des opérateurs impliqués dans des événements graves.

La question à laquelle notre recherche s'est attachée était la suivante : lorsqu'il est nécessaire de placer la personne interrogée en posture d'évocation, les enquêteurs utilisent-ils les consignes d'évocation et parviennent-ils à obtenir une posture d'évocation ? Lorsque la personne interrogée relate l'événement grave en posture d'évocation et qu'elle perd cette posture, la diminution de la qualité des informations fournies devrait provoquer le rappel d'une consigne d'évocation par l'enquêteur, afin de la replacer en posture d'évocation. Nous faisons l'hypothèse que les moments de perte de la posture d'évocation par l'interrogé provoquent une prise de parole de l'enquêteur, sous la forme d'une consigne d'évocation, et que cette prise de parole est suivie d'une reprise de la posture d'évocation par l'interrogé.

4. MÉTHODE

4.1. Organisation des entretiens conduits dans le cadre des enquêtes de sécurité du BEA-É

Le BEA-É emploie 25 personnes dont 9 enquêteurs civils et militaires issus des métiers de l'aéronautique : trois pilotes d'avion, deux pilotes d'hélicoptère et quatre ingénieurs. Le BEA-É réalise environ 20 enquêtes par an. Chacune d'entre elles est dirigée par un de ces neuf enquêteurs. Celui-ci sera notamment en charge de mener les premiers entretiens individuels avec les membres d'équipage impliqués. Les experts techniques du groupe d'enquête (e.g. pilote, mécanicien, médecin) peuvent être présents durant l'entretien en tant qu'observateurs.

Afin de limiter les risques d'oubli et de reconstruction des souvenirs avec le temps, ces entretiens sont réalisés dans les jours suivants l'événement. La tâche explicitement prescrite aux enquêteurs est de recueillir lors de l'entretien « *les faits, les perceptions, […], les raisonnements, les*

prises de décision et les émotions ressenties » (*Memento du directeur d'enquête du BEA-É*) qui renseignent sur le vécu de l'opérateur.

Avant leur affectation au BEA-É, les enquêteurs ne sont pas formés à ce type d'entretien. Tous les enquêteurs bénéficient de la même formation initiale au sein d'un organisme externe de formation, dont une semaine est consacrée aux entretiens. Lors de cette formation, des *consignes d'évocation* leur sont enseignées pour favoriser la remémoration de la personne interrogée et obtenir des informations sur son vécu subjectif : *consignes pour resituer* le discours (« à ce moment-là… », « à cet endroit-là… »), *consignes d'effort mnésique* incitant la personne à faire un effort de rappel (dites-moi tout ce qui vous revient à l'esprit… »), et *consignes de remise en contexte mental* (« Rappelez-vous la scène, ce que vous ressentiez »).

4.2. Recueil des entretiens étudiés

Les entretiens réalisés dans le cadre des enquêtes du BEA-É peuvent faire l'objet d'un enregistrement audio qui est détruit après exploitation. L'étude a porté sur des entretiens menés par chacun des neuf enquêteurs du BEA-É lors de leur dernier événement investigué auprès des membres d'équipage impliqués.

Les enquêteurs et les membres d'équipage impliqués dans les événements sélectionnés ont été informés par écrit de l'objectif de l'étude, son déroulement, du traitement des données et des résultats attendus. Après recueil de leur consentement, 17 entretiens portant sur huit événements graves ont été inclus (un enquêteur n'a pas fourni d'enregistrement), puis anonymisés. La durée moyenne des entretiens était de 58 mn (min. = 21 mn, max. = 139 mn).

Les huit événements retenus reflètent la diversité des enquêtes réalisées au BEA-É : cinq événements étaient des accidents avec dégâts matériels uniquement, et trois étaient des incidents graves sans dégât matériel. La moitié des événements s'était produite hors métropole (pays étrangers, France d'Outre-Mer). Les aéronefs concernés étaient deux hélicoptères, cinq avions de transport ou de liaison et un avion de chasse.

4.3. Identification des postures de l'interrogé

Le contenu des entretiens a fait l'objet d'un codage distinct pour les verbatims de l'enquêteur et ceux de l'interrogé. Le *Tableau 1* présente la grille de codage des prises de parole de la personne interrogée et de celles des enquêteurs, avec la définition et un exemple pour chacun des codes.

Les prises de parole de l'interrogé ont été regroupées en quatre catégories selon la nature de l'information fournie : 1) informations fournies en posture d'évocation, 2) informations fournies en posture généralisante, 3) expression d'un jugement ou d'une évaluation, et 4) informations ne portant pas sur le déroulement des faits.

Pour identifier les pertes de posture d'évocation, les moments où se terminaient une prise de parole en posture d'évocation ont été relevés mais n'ont pas tous été interprétés comme une perte de la posture d'évocation. Les interruptions d'un discours en posture d'évocation par un silence, suivies d'une reprise de la parole en posture d'évocation ont été considérées comme une pause durant laquelle l'interrogé reste en évocation. De plus, durant l'entretien, l'interrogé peut être amené à fournir des informations de contexte, nécessaires à la compréhension de l'enquêteur mais ne portant pas directement sur le déroulement des faits. A ce moment, il n'est pas attendu que l'interrogé soit maintenu en posture d'évocation, et par conséquent ces interruptions de la posture d'évocation n'ont pas été inclues dans les pertes de posture d'évocation à étudier. Toutes les autres interruptions ont été interprétées comme des pertes de la posture d'évocation pour lesquelles il était attendu que l'enquêteur exprime une consigne d'évocation.

4.4. Codage des prises de parole de l'enquêteur

Les prises de parole de l'enquêteur ont été classées selon ce qu'elles demandaient à la personne interrogée : 1) Les relances, destinées à faire préciser ou développer le propos, 2) les consignes d'évocation destinées à placer l'interrogé en évocation de son expérience vécue, 3) les autres consignes rappelant les règles de l'entretien, et 4) toutes les autres prises de parole qui ont été regroupées sous le terme de « commentaires ».

La consigne d'évocation était définie comme l'utilisation d'une des techniques de maintien en évocation enseignées aux enquêteurs du BEA-É. Elle se distinguait des autres consignes (rappel d'une règle de l'entretien non liée à la posture d'évocation), des relances (interventions destinées à prolonger le discours de l'interrogé) et des prises de parole n'attendant pas de réponse de l'interrogé et considérées comme des commentaires de l'enquêteur.

4.5. Analyse de la dynamique des échanges entre enquêteur et personne interrogée

La dynamique des échanges entre enquêteur et interrogé a été analysée grâce à la mise en parallèle de leurs activités respectives pour chacun des 17 entretiens étudiés. Afin d'explorer la manière dont les enquêteurs parviennent à recueillir l'expérience vécue des personnes interrogées, nous avons analysé ce que faisaient les enquêteurs au moment des pertes de posture d'évocation par les interrogés dans la minute qui la suivait : soit l'enquêteur gardait le silence et laissait l'interrogé poursuivre son discours, soit il prenait la parole. Lorsqu'il prenait la parole, la nature de sa prise de parole était relevée, selon qu'il s'agissait d'une consigne d'évocation ou d'un autre type d'intervention. Enfin, à l'issue de la prise de parole de l'enquêteur, la réponse de l'interrogé était observée afin d'identifier si la reprise de son discours était en posture d'évocation ou non.

Tableau 1 : Grille d'encodage des prises de parole de l'enquêteur et de la personne interrogée.

Observable	Définition	Exemple
Personne interrogée		
Informations fournies en posture d'évocation	Informations sur le vécu des actions, comment elles ont été élaborées et quelles pensées les accompagnaient	« *Moi, voyant l'eau arriver vraiment proche, dans ma tête j'étais focalisé sur le fait qu'on allait amerrir* » (copilote) « *Il faisait chaud donc j'ouvre ma fenêtre-tempête, et j'entends « tic tic tic tic »* » (pilote)
Informations fournies en posture généralisante	Informations portant sur le prescrit ou reconstruites à partir de connaissances générales	« *On a volé l'après-midi deux heures. RAS tout le vol.* » (pilote)
Posture de jugement ou d'évaluation	Expression d'un avis personnel au présent	« *Je pense après coup, si on avait gonflé la flotta en limite de puissance, on aurait été encore plus gêné* » (commandant de bord)
Informations ne portant pas sur le déroulement des faits	Présentation, expérience personnelle avant l'événement	« *Je suis pilote de chasse depuis 2008* » (pilote) « *Ça nous a valu plus d'un mois d'indispo* » (commandant de bord)
Enquêteur		
Relances	Relance faisant préciser ou développer le propos	« *Quand tu dis « les balises », c'est combien de balises ?* » « *Est-ce que vous avez envisagé de larguer les bidons ?* »
Consignes d'évocation	Consigne de mise en évocation de l'interrogé	« *Est-ce qu'on peut revenir au moment de l'événement ?* »

		« *Quelle est ta sensation par rapport à cette nuit et ces lumières qui étaient dehors ?* »
Consignes autres	Rappel du cadre, changement d'étape de l'entretien	« *On va aborder les questions* [i.e. la phase de « dialogue »] »
		« *Je vais vous libérer.* »
Commentaires	Déclaration autre que consigne ou relance ou question	« *J'aurai un compte-rendu avec la météo exacte.* »
		« *Pour nous, c'est une de nos bases de travail.* »

5. RÉSULTATS

5.1. Posture de l'interrogé et consignes d'évocation de l'enquêteur

Sur l'ensemble des entretiens analysés, la durée cumulée de description de l'événement par les interrogés était de 07h09. Sur ce temps de parole, les personnes interrogées étaient en posture d'évocation pendant 1h35, soit 22 % du temps de parole, en posture généralisante durant 05h08, soit 72 % du temps de parole, et tenaient un autre discours durant 00h25, soit 6 % du temps de parole.

Sur l'ensemble des 17 entretiens, 26 consignes d'évocation ont été utilisées par les enquêteurs, dont cinq après une perte de la posture d'évocation par l'interrogé. Sur les 26 consignes, 16 étaient suivies d'un discours en évocation de l'interrogé. Il n'a pas été retrouvé d'effet de ces consignes d'évocation sur la posture de l'interrogé, X^2 (1, 26) = 0,91, p = 0,34.

5.2. Dynamique entre les prises de parole de l'interrogé et celles de l'enquêteur

Nous avons identifié sur l'ensemble des entretiens 204 occurrences de prises de paroles en posture d'évocation. Sur ces 204 occurrences, 76 se terminaient par des silences suivis d'une reprise de parole dans la même posture d'évocation, et huit autres prenaient fin pour laisser place à des informations non directement liées à l'événement.

Pour chacune des 120 occurrences d'une perte de la posture d'évocation par l'interrogé pendant la description de l'événement, nous avons relevé la réaction des enquêteurs. Les trois quarts de ces situations n'entrainent pas de prise de parole de la part des enquêteurs (87 occurrences). Sur les 33 autres cas, les enquêteurs prenaient la parole principalement pour exprimer une relance sans consigne d'évocation (28 occurrences). L'utilisation d'une consigne d'évocation par l'enquêteur sans effet sur l'interrogé n'a été observée qu'une fois.

6. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Dans les entretiens réalisés par des enquêteurs suite à un événement aérien grave, le recueil de l'expérience vécue des membres d'équipage impliqués permet d'analyser le lien entre leurs activités mentales et la situation. Afin d'explorer la capacité d'enquêteurs du BEA-É à réaliser cette tâche, nous avons analysé 17 entretiens portant sur 8 événements aériens graves.

Les opérateurs interrogés sont en posture d'évocation durant 22 % de leur temps de parole. La récupération d'une perte de posture d'évocation par l'interrogé suite à une consigne adaptée de l'enquêteur était l'exception : seules quatre des 120 occurrences de perte de posture d'évocation ont été récupérées de cette façon. Le cas le plus fréquent était celui d'une absence de prise de parole de l'enquêteur (76 % des cas) ou l'énonciation d'une consigne autre que d'évocation (24 % des cas).

L'absence de prise de parole de l'enquêteur suite à une perte de posture d'évocation pourrait être expliquée par plusieurs éléments. Tout d'abord, les enquêteurs ne sont pas formés à repérer les variations de postures de l'interrogé mais simplement à donner des consignes d'évocation pour aider

la personne interrogée à décrire l'événement de façon détaillée (Cahour, 2016). De plus, pour éviter d'induire le discours de l'interrogé, les enquêteurs sont formés à intervenir le moins possible lorsque l'interrogé décrit le déroulement des faits (Rogers, 1968 ; Sauvayre, 2013). Enfin, les enquêteurs peuvent choisir de laisser s'exprimer l'interrogé, soit pour ne pas interrompre le fil de son discours, soit parce que les informations fournies intéressent également l'enquêteur, par exemple la perception par l'interrogé du rôle de l'organisation et de la supervision dans la genèse de l'événement (Strauch, 2002). Les prises de parole de l'enquêteur qui ne s'apparentent pas à des consignes d'évocation, après une perte de la posture d'évocation, peuvent avoir les mêmes interprétations : non-détection du changement de posture, mauvaise maitrise des consignes d'évocation, ou intérêt pour des informations autres que l'expérience vécue de l'interrogé. D'autres investigations sont nécessaires pour décrire les motivations des enquêteurs à ne pas intervenir ou bien à préférer des relances d'éclaircissement plutôt que des consignes d'évocation, à l'aide d'entretiens semi-dirigés avec les enquêteurs, croisés avec les résultats de notre étude.

Ces résultats ont permis de proposer deux axes de transformation au sein du BEA-É. Les enquêteurs se voient désormais proposer une formation complémentaire aux entretiens re-situant (Cahour et al., 2016), incluant une initiation à la pratique d'entretiens d'explicitation et d'auto-confrontation. En complément, l'ergonome interne du BEA-É – qui est amenée à écouter certains entretiens conduits par les enquêteurs – est désormais chargée de leur proposer des feedbacks et des conseils réguliers sur leur pratique des entretiens dans une perspective de développement des compétences. D'autres transformations ont été envisagées, comme faire réaliser systématiquement les entretiens par deux enquêteurs, dont l'un reste en retrait pour n'intervenir qu'en cas de dérive de l'entretien. Cette mesure est déjà appliquée pour accompagner les nouveaux enquêteurs durant leur première année d'exercice, mais le BEA-É ne dispose pas des moyens humains lui permettant de généraliser cette pratique. Enfin, la réalisation d'une nouvelle étude après mise en œuvre de ces transformations permettrait d'évaluer leur efficacité.

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Amalberti, R. (2001). The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety science*, 37(2-3), 109-126.

Bureau Enquêtes Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (2021). *Rapport d'activité 2021*.

Cahour, B., Salembier, P., & Zouinar, M. (2016). Analizing lived experience of activity. *Le travail humain, Special issue activity analysis II, 79*(3), pp. 259-284

Dekker, S. (2004). *Ten questions about human error: A new view of human factors and system safety*. CRC Press.

Duncan, D., & Klockner, K. (2020). Development of the contributing factors Framework interview guide: all aboard the rail safety truth train. *Safety science, 129*, p. 104853.

Faingold, N. (2013). Accompagner l'émotion : explicitation, décryptage du sens et parties de soi. Expliciter, pp. 29-38.

Flanagan, J. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin, 51*(4), pp. 327–358.

Girard, Y. (1995). L'analyse détaillée des accidents : un outil pour la recherche. *Analise psycologica, 3*(13), pp. 275-278.

Klein, G. A., Calderwood, R., & Macgregor, D. (1989). Critical decision method for eliciting knowledge. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 19*(3), pp. 462-472.

Lallemand, C., & Gronier, G. (2015). *Méthodes de design UX : 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Editions Eyrolles.

Leveson, N. G. (2012). *Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety.* The MIT Press.

Lundberg, J., Rollenhagen, C., & Hollnagel, E. (2009). What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Safety Science, 47*, pp. 1297–1311.

Paulo, R. M., Albuquerque, P. B., & Bull, R. (2013). The enhanced cognitive interview: Towards a better use and understanding of this procedure. *International Journal of Police Science & Management, 15*(3), 190-199.

Rogers, C. (1968). *Le développement de la personne*. Dunod.

Salmon, P. M., Stanton, N. A., Lenné, M., Jenkins, D. P., Rafferty, L., & Walker, G. H. (2011). Human factors methods for accident analysis. Dans P. M. Salmon, N. A. Stanton, M. Lenné, D. P. Jenkins, L. Rafferty, & G. H. Walker, *Human factors methods and accident analysis* (pp. 7–82). Ashgate.

Sauvayre, R. (2013). *Les méthodes de l'entretien en sciences sociales*. Dunod.

Strauch, B. (2002). Interviews. Dans B. Strauch, *Investigating human error: Incidents, accidents, and complex systems* (pp. 147-167). Ashgate.

Theureau, J. (2006). *Le cours d'action : Méthode développée*. Octares.

Vermersch, P. (2010). Technique d'entretien et explicitation de l'action. Dans P. Vermersch, *L'entretien d'explicitation* (éd. 6e). ESF.

Zouinar, M., & Cahour, B. (2013). Activité et expérience vécue : quels liens ? Dans C. Van de Leemput, C. Chauvin, & C. Hellemans, *Activités humaines, technologies et bien-être. Actes du 7e colloque de psychologie ergonomique, Epique 2013* (pp. 69-74). Arpege science publishing.

CL : *Pratiques actuelles et perspectives d'évolution des formations au Crew Resource Management dans les armées : le cas de la formation RAF-AERO®.*

Solange Duvillard-Monternier
Institut de recherche biomédicale des armées – Unité Formation Aéromédicale
BP 73, 91220 Brétigny sur Orge Cedex (France), solange.monternier@def.gouv.fr
Solenn Lacheze
Institut de recherche biomédicale des armées – Unité Formation Aéromédicale
BP 73, 91220 Brétigny sur Orge Cedex (France)
Clara Lahaine
Institut de recherche biomédicale des armées – Unité Formation Aéromédicale
BP 73, 91220 Brétigny sur Orge Cedex (France)
Walter Riccardi
Institut de recherche biomédicale des armées – Unité Formation Aéromédicale
BP 73, 91220 Brétigny sur Orge Cedex (France)
Anthony Vacher
Institut de recherche biomédicale des armées – Unité Recherche Expertise en Aéronautique BP 73, 91220 Brétigny sur Orge Cedex (France)

RÉSUMÉ

Cette communication consiste en un bref historique, un état des lieux actuel et la présentation des perspectives quant aux formations au *Crew Resource Management* (CRM)qui sont dispensées au sein des armées. Ces formations au CRM ont été développées dans les armées à compter des années 1990, d'abord dans l'aéronautique militaire, afin de prévenir les accidents aériens par l'adoption par les opérateurs d'attitudes et de comportements propices à la sécurité aérienne. Pour répondre aux nouveaux enjeux et aux caractéristiques des environnements opérationnels militaires modernes (travail au sein de systèmes de systèmes, incertitudes, imprévus, environnements dégradés, combats à haute intensité), il est devenu nécessaire d'adapter les formations au CRM De ce constat, a été développée une formation au CRM flexible et ouverte : la formation « Rafraichissement Aéronautique » (RAF AERO®). Nous présenterons ici 1) le contexte relatif aux formations au CRM, 2) les évolutions récentes et les enjeux de l'environnement militaire en système de systèmes et, 3) les caractéristiques de la nouvelle formation RAF AERO® qui vise à répondre à ces enjeux et à ces évolutions. En conclusion, nous aborderons les principales perspectives d'évolution des formations au CRM dans les armées.

MOTS-CLÉS

Crew *Resource Management* ; Formation ; Expérience et pratique ; Système de systèmes.

1. INTRODUCTION

Inspirées par les pratiques développées par l'aviation civile internationale, l'aéronautique militaire française a développé des formations au *Crew Resource Management* (CRM) à destination de ses personnels dès les années 1990 dans le cadre d'un plan d'actions « Facteur Humain », visant à prévenir les accidents aériens et à maintenir la capacité opérationnelle des unités navigantes. L'enjeu

des formations au CRM est de développer « un ensemble de compétences de travail en équipe qui permettent à un équipage de faire face aux exigences d'une situation qui dépasseraient les compétences de chaque membre d'équipage pris individuellement » (Salas et al., 1999, p. 163). Le développement de ces compétences CRM repose sur l'utilisation d'outils pédagogiques éprouvés et vise à accroître la performance des équipages en facilitant la mobilisation efficace des ressources et des compétences non-techniques (Flin, et al. 2003). Ainsi, les formations CRM visent à « développer la synergie entre les différents membres d'une équipe ou d'un équipage, à améliorer les modes de communications opérationnelles et à optimiser les ressources de chacun dans le but d'améliorer la performance humaine et technique en matière de sécurité » (Jollans et al., 2013, p. 345).

Depuis leur création dans les années 1990, le périmètre des bénéficiaires des formations au CRM dans les forces armées s'est considérablement élargi. Ces formations ne se limitent plus aux seuls personnels navigants présents dans le cockpit ; elles concernent aussi les nombreuses spécialités qui œuvre au sol pour permettre la réalisation des missions aériennes avec un haut niveau de performance et de sécurité (contrôleurs aériens, mécaniciens…). Depuis quelques années, ces formations sont également dispensées à des professionnels d'autres secteurs (sous-mariniers, marins, sapeurs-pompiers, professionnels de santé…).

Nous présenterons tout d'abord des éléments de contexte concernant les formations au CRM, notamment leurs origines, leurs caractéristiques et objectifs principaux. Puis, nous préciserons la nature des évolutions récentes de l'environnement militaire qui nous ont conduit à faire évoluer les formations au CRM tant en termes de conception que de façon de les enseigner. Ainsi, dans une dernière partie, nous présenterons la formation au CRM intitulée RAF-Aéro® qui est destinée à être dispensées tout métier confondu au sein de l'aéronautique militaire et vise à répondre aux évolutions des opérations aériennes militaires.

2. CONTEXTE

2.1. Les différentes générations de formation au CRM au sein des forces armées

2.1.1. L'amélioration de la sécurité aérienne : de la fiabilité technique aux facteurs humains et organisationnels

Selon l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI, 2009), le périmètre des mesures visant à améliorer la sécurité aérienne s'est étendu avec la distinction de trois grandes périodes successives : 1) celle des facteurs techniques, principalement centrée sur l'amélioration de la fiabilité technique (1945 – 1970) ; 2) celle des facteurs humains, principalement centrée sur la compréhension et la gestion de l'erreur humaine à l'échelle individuelle et de l'équipage (1970-1990), puis ; 3) celles des facteurs organisationnels, reconnaissance de l'influence majeure de l'organisation sur les comportements des équipages (1990 - aujourd'hui). La période des facteurs techniques correspond à celle visant à améliorer la fiabilité technique des aéronefs, des systèmes embarqués et du contrôle aérien et à standardiser et procéduraliser l'activité des professionnels du secteur. La période des Facteurs Humains (FH) est consécutive à une prise de conscience du rôle clef de l'Humain dans la performance et la sécurité aérienne, l'erreur humaine et les défaillances de l'équipage à gérer ses ressources étant considérées comme les causes prédominantes des accidents aériens. C'est durant cette période que sont nées les formations au *Crew Resource Management* et les approches de conception anthropocentrée (i.e., Interface homme-machine, procédures). La compréhension des mécanismes de survenue de l'erreur humaine (Reason, 1993) et des défaillances des équipages à mobiliser efficacement leurs ressources en situation, notamment par la psychologie cognitive et ergonomique (Flin, et al., 2003), a conduit à ce que le contexte organisationnel dans lequel se déroule les vols fasse lui aussi l'objet d'une attention particulière et au développement d'une approche systémique de la sécurité (Reason, 1993).

Depuis les années 2000, l'approche de la sécurité a encore évolué en adoptant une vision intégrée permettant non seulement la maîtrise des risques prévisibles mais aussi la capacité à faire face aux situations imprévues. Cette approche intégrée de la sécurité trouve sa source dans des environnements à risque modernes qui sont désormais caractérisés par la survenue rapide de changements et de perturbations aussi bien prévus qu'imprévus et le fait que, dans ce contexte de gestion des situations imprévues, l'hyper-procéduralisation peut paradoxalement parfois conduire à des effets contre-productifs sur la sécurité (Daniellou, Boissières & Simard, 2010).
Ainsi, la sécurité aérienne ne se fonde pas seulement sur la modernisation et la fiabilité technique des aéronefs, ni sur la conception et le suivi d'une règlementation rigoureuse et restrictive, mais doit également s'appuyer sur les capacités d'adaptation des personnels et des équipages notamment pour faire face à l'imprévu.

2.1.2. Les générations de formations CRM dans les forces armées

A l'instar de ces grandes périodes d'évolution de la prise en compte de la sécurité aérienne, il est possible de distinguer des évolutions dans la façon de mener les formations CRM. Les premières formations se focalisent tout d'abord sur la synergie, la communication et les processus de prise de décision dans un équipage. Les formations se sont ensuite adaptées pour tenir compte de la complexification des interfaces et les approches systémiques.
Selon Fornette & Jollans (2013, p. 17- 20), il est ainsi possible de distinguer quatre générations de formation CRM : 1) celle de la construction de l'équipe, 2) celle de l'éducateur en FH, 3) celle de la dynamique de groupe, 4) celle de l'apprentissage organisationnel.
Dans la génération de formations CRM visant à la construction de l'équipe, le postulat de base est le suivant : l'organisation est intrinsèquement bonne et les accidents surviennent du fait des opérateurs. Cette génération de formation CRM était ainsi critiquée par les opérateurs qui étaient de fait culpabilisés et « touchés dans leur amour propre » (Fornette & Jollans, 2013, p. 17).
Tenant compte de cela, la deuxième génération a eu pour objectif de mieux faire comprendre aux opérateurs leurs failles en vue de les rendre plus fiables, avec des instructeurs spécialistes des FH ou en sciences humaines. Toutefois, ces enseignements n'étaient pas suffisamment corrélés au travail réel et ne prenaient pas en compte les problématiques émergeantes en lien avec les automatismes dans les postes de pilotage.
Dans la troisième génération de formation CRM, l'erreur n'est plus considérée comme une défaillance qu'il faut éradiquer ou, tout au moins, minimiser, mais comme le résultat du fonctionnement normal de l'humain (Reason, 1993). Bien que faillibles, les opérateurs sont toutefois des agents de fiabilité à part entière capables d'adaptation pour faire face. Ces formations sont alors adaptées aux adultes (*i.e.*, andragogie) en se fondant sur le concept des approches d'entretiens d'auto-confrontations croisées (Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2000). Ces processus réflexifs en petits groupes constitués contribuent à modifier les normes groupales.
Dans le même temps, la quatrième génération de formation CRM est apparue en s'élargissant à d'autres spécialités que celles des personnels navigants (i.e., pilote et navigateur systèmes d'armes), comme par exemple, les contrôleurs aériens, les techniciens de maintenance. L'approche s'ouvre également à l'environnement organisationnel. Ainsi, Lot, *et al.* (2016) préconisent qu'«il n'est plus question à proprement parler de CRM mais bien plutôt d'ORM (*Organization Resource Management*) puisque l'ensemble de l'organisation et de ses membres sont concernés ».

2.2. Conception et organisation des formations au CRM dans les armées

La politique de formation au CRM au sein des armées et le processus de conception de ces formations ont été décrits de façon détaillée dans un travail précédent (Jollans, Lachèze, Fornette et Darses, 2013). De façon succincte, au sein des armées, la conception des formations au CRM et la formation des animateurs opérationnels qui forment leurs pairs dans les unités opérationnelles sont

assurées par une équipe de trois personnels de l'Armée de l'Air et de l'Espace (2 ergonomes, 1 psychologue) affectés au sein de l'Institut de recherche biomédicale des armées, en étroite collaboration avec un réseau d'animateurs CRM expérimentés affectés au sein de différentes unités militaires des 3 armées , la Gendarmerie nationale et la Délégation Générale de l'Armement .
Les thématiques qui sont abordées lors des formations au CRM sont à la fois celles exigées par la règlementation (prise de décision, erreurs, communication, conscience de la situation, gestion du stress et de la fatigue...) et celles qui ont été développées au fil des années par l'équipe CRM pour répondre aux besoins spécifiques exprimés par les militaires (contraintes des opérations, gestion des imprévus…). Chaque thématique est développée après une analyse de l'activité des professionnels concernés.

Dans l'aéronautique militaire, chaque personnel (personnel navigant, opérateur de drones, contrôleur aérien, mécanicien, personnel de sécurité cabine) bénéficie un an après son arrivée dans son unité d'une formation initiale au CRM d'une durée de 2 jours qui est dispensée par un binôme de pairs de sa spécialité. Cette formation initiale est réalisée en salle à un groupe de 8 à 12 personnes. Après cette formation initiale, chaque personnel bénéficie d'une formation dite de « rafraichissement » d'une journée, toujours dispensée par un binôme de pairs.

2.3. Objectifs et caractéristiques principaux des formations au CRM

Les objectifs principaux des sessions CRM sont de faire évoluer les pratiques (contribuer à transformer des connaissances en habiletés) en faisant prendre conscience de la portée des Facteurs Sociaux Organisationnels et Humains (FSOH), susciter des échanges, des discussions quant à l'activité opérationnelle, renforcer des éléments de connaissance et apporter des astuces de gestion des ressources individuelles et collectives. L'enjeu est de permettre aux opérateurs de porter un regard réflexif et introspectif sur leur propre activité, mais aussi d'adopter une approche préventive en facilitant à l'avenir chez eux l'identification de situations à risque. Les formations de CRM ne sont pas des formations magistrales aux Facteurs Sociaux Organisationnels et Humains , ni un lieu d'échanges d'anecdotes au bar (Marchand, 2009). Les deux ont leur intérêt certain, et les formations de CRM sont à la croisée des deux et sont complémentaires à ces dernières. En effet, les formations CRM viennent avant tout faciliter la parole[4] des opérateurs autant que possible tout en permettant d'intégrer un corpus scientifique commun concernant le fonctionnement humain. La méthode andragogique adoptée lors des formations CRM vise à faciliter le changement et l'apprentissage, dans une ambiance détendue et néanmoins sérieuse[5] sous la supervision d'un binôme d'animateurs, formés au préalable à une formation de formateur CRM. Il s'agit pour ces animateurs, à l'instar de l'approche de Rogers (2013, p. 157) de « libérer la curiosité intellectuelle… ; permettre à chacun de s'élancer dans de nouvelles directions… ; ouvrir toute chose à l'exploration et à la remise en question ; reconnaitre que tout est mouvement ou en train de changer », car (ibid, p. 158) la « facilitation de l'apprentissage » est « le but par excellence de l'enseignement ». Pour se faire, les échanges entre animateur et pairs se fondent sur le principe de l'échange authentique, « la considération, …l'acceptation, la confiance » (ibid, p. 163).

3. EVOLUTIONS RECENTES DE L'ENVIRONNEMENT OPERATIONNEL MILITAIRE

3.1. Opérations militaires en Système de systèmes

Les opérations aériennes actuelles se fondent sur des systèmes de systèmes qui interagissent ensemble. Selon Dahmann (2015), « un système de systèmes (SdS) est un système d'intérêt (SOI) dont

[4] i.e., la maïeutique, selon la méthode socratique reposant apparemment sur l'interrogation et se proposant d'amener un interlocuteur à prendre conscience de ce qu'il sait implicitement, à l'exprimer d'après le Centre national de Ressources Textuelles et Lexicales – CNRTL.

[5] *i.e.*, les expériences évoquées de leur quotidien par les opérateurs (récits expérientiels) témoignent parfois l'évènements où ils ont frôlé la catastrophe. Il peut s'agit d'évènements critiques (Owen, 2007).

les éléments sont eux-mêmes des systèmes. Un SdS rassemble un ensemble de systèmes pour une tâche qu'aucun des systèmes ne peut accomplir seul. Chaque système constitutif conserve sa propre gestion, ses propres objectifs et ses propres ressources, tout en se coordonnant au sein du SdS et en s'adaptant pour atteindre les objectifs du SdS ». Cet ensemble de systèmes interopérables et/ou intégrés produit des résultats impossibles à atteindre par les systèmes individuels seuls.
Comme l'illustre ainsi Noël (2021, p. 29-30) afin de dominer le champ de bataille, « il est désormais envisageable de déployer une multitude de capteurs (…) pour recueillir des données, les traiter et les distribuer aux états-majors, troupes et plateforme de tir grâce à une architecture en réseau. Cette guerre réseau-centrée (*Network-Centric Warfare*) révolutionne la manière de combattre des armées ». A l'échelle interarmées également, le Général de division aérienne Pena (2021, p. 59) souligne la nécessité d'un langage commun, car « les engagements récents – opérations *Hamilton, Barkhane* – ne laissent guère de doute sur la nécessité de mettre en commun les savoir-faire et les capacités de chacune de nos armées. Mais il faut pousser plus loin cette intégration, en homogénéisant les méthodes de travail ».

3.2. Impact sur le travail des opérateurs quelle que soit leur spécialité

Devant cette mutation des opérations militaires il convient de rechercher la meilleure synergie entre les différents acteurs reliés via les SdS qu'il s'agisse des pilotes de chasse d'avions habités, de pilote à distance, d'opérateurs de systèmes de drones, de contrôleurs aériens, de personnels renseignements embarqués dans le système VADOR (Vecteur Aéroporté de Désignation, d'Observation et de Reconnaissance), sur AWACS (Airborne Warning and Control System) ou Atlantique 2, de Forward Air Controller au sol, de mécaniciens navigants ou au sol, d'agent de sécurité cabine.

Considérant que ces acteurs sont interdépendants et œuvrent en complémentarité lors des opérations, leurs consciences de la situation individuelles (Endsley, 1988) ainsi que leurs états mentaux partagés (Cannon-Bowers, Salas & Converse, 1993) doivent être optimaux. Il s'agit en effet de développer leur compétences collaboratives (Lachèze & Ferrari, 2010) en dépit de l'hétérogénéité des opérateurs et de leur distanciation physique dans cet environnement complexe de systèmes de systèmes. Il est important qu'ils partagent des valeurs et références communes, pour que leurs actions soient ainsi congruentes et coordonnées. La confiance relationnelle doit également être en présence pour interagir efficacement, comprendre et appréhender les contraintes spécifiques qui s'exercent sur les confrères de spécialités différentes. Il s'agit également d'entrainer les opérateurs à passer de la coopération à la collaboration. Dans la coopération, si les objectifs des opérateurs sont les mêmes, les intérêts sont individuels. Tandis que dans la collaboration, les opérateurs se réunissent non seulement autour d'un même objectif, mais également un intérêt commun.

Pour accroître les performances de ces différents acteurs agissant et interagissant au sein d'un même SdS, il peut être intéressant d'envisager des formations communes au CRM pour que chacun puisse communiquer, partager un socle commun de références, développer une synergie en croisant les regards sur les activités respectives et complémentaires des autres. Ainsi, Wilson et al. (2008) ont souligné par exemple l'importance de la cognition partagée pour accroître l'efficacité d'une équipe chirurgicale et les avancées en matière de formation d'équipe.

4. UNE FORMATION AU CRM FLEXIBLE ET ADAPTATIVE

4.1. Raisons qui ont prévalues pour la création de la formation RAF-Aéro®

Historiquement et jusqu'à une période relativement récente, les formations au CRM dans les armées étaient dispensées uniquement entre pairs d'une même spécialité afin de garantir la délivrance d'un message adapté à la population visée et être plus précisément en adéquation avec les réalités de terrain et les préoccupations du moment. Conscient de l'enjeu stratégique que recouvrent le

développement des états mentaux partagés et de la cognition partagée chez les opérateurs œuvrant en SdS, l'équipe CRM de l'IRBA a développé en 2019 la formation RAF-Aéro® ouverte et flexible pour répondre à ce besoin prégnant. Il s'agit de développer la communication inter-spécialiste pour favoriser les regards croisés et le croisement des cultures. L'objectif est ainsi de développer une prise de conscience accrue des contraintes qui s'exercent dans les différents métiers et permettre une meilleure conscience de la situation des acteurs œuvrant en SdS.
Relevons par ailleurs que le principe de brassage en multi-spécialité n'est pas seulement le fait des forces armées. C'est également le choix qui a prévalu dans la construction de la formation réalisée par l'IRBA au profit de la Brigade des Sapeurs-Pompiers de Paris (BSPP). Dans le secteur de la santé, cette démarche d'une formation au CRM ouverte et interspécialités a également été adoptée en 2018 par le secteur médical (*i.e.*, Programme d'Amélioration Continue du Travail en Équipe (PACTE), programme collaboratif par la Haute Autorité de Santé). Il s'agit également d'une démarche déployée dans une visée d'efficacité du retour d'expérience opérationnel. Ainsi, Casse et Caroly (2017) rapportait que dans le domaine de l'exploitation des tunnels autoroutiers « la mise en place de retours d'expériences (RETEX) fondé sur des espaces de débats inter-métiers (…) a conduit à améliorer le partage des représentations, la confrontation des pratiques et la transmission des connaissances entre opérateurs ».

Enfin, d'un point de vue plus pragmatique, dans les armées, le bénéfice secondaire de cette formation RAF-Aéro® plus ouverte aux différentes spécialités est de permettre la réalisation plus aisée de session. En effet, du fait d'épisodes de tensions RH, certaines sessions étaient difficiles à organiser dans les unités opérationnelles par manque de disponibilités de stagiaires ou d'animateurs d'une même spécialité. En ouvrant la formation à plusieurs spécialités, les chances de réaliser les sessions sont optimisées. De plus, cette formation transverse à plusieurs spécialités, diminue le nombre de supports pédagogiques à actualiser par l'équipe conceptrice des formations au CRM de l'IRBA.

4.2. Caractéristiques principales de la formation RAF-Aéro®

Cette nouvelle formation intègre à la fois les avantages des précédentes générations de formations (§ 2.3). Précisons ici que la formation RAF AERO® peut être utilisée, comme les précédentes formations initiales et formations récurrentes de « rafraichissements » spécifiques, entre pairs d'une même spécialité si le besoin s'en faisait ressentir, en fonction des situations rencontrées dans l'environnement de travail d'une unité opérationnelle.

Toutefois, la nouveauté de la formation RAF AERO® est qu'elle favorise et offre la possibilité d'une mixité entre spécialistes pour répondre aux enjeux SdS. Dans ce cas, la constitution du binôme d'animateurs est mixte, (par exemple un pilote avec un contrôleur aérien, ou un mécanicien).

Les thématiques FSOH abordées dans la formation RAF AERO® sont celles exigées par les autorités de tutelles de l'aéronautique et développées dans les formations au CRM existants : écarts comportementaux (erreurs humaines et violations), migration des pratiques, communication, conscience de la situation, travail en équipe, gestion du risque, persévérance/persévération, interruption de la tâche, confiance, charge de travail, gestion de la pression opérationnelle, gestion de la fatigue, expertise, motivation, dynamique de groupe, prise de décision, effet spectateur, gestion du stress, formation pratique, analyse systémique des événements aériens, modes de contrôle cognitif de l'activité.

La structure est également ouverte, parce que le choix des thématiques abordées en session de rafraichissement dépend des besoins du groupe. L'organisation de la session prévoit en effet une phase de discussion et de réponse aux questions. A l'issue de cette phase, le binôme d'animateurs va retenir les deux thématiques émergentes à aborder pour répondre aux problématiques principales rencontrées par le groupe au moment de la session de formation. Ce choix se réalise de concert avec

les intéressés, ce qui permet ainsi de réaliser une formation sur mesure et d'apporter ainsi toute la souplesse et la flexibilité requise dans le dispositif.

Des sujets d'actualités peuvent également être apportés et la session se termine ensuite par une étude de cas visant à conforter certaines notions de retour d'expérience (en partant des faits, de leur analyse et des recommandations qui en découlent).

Le concept est différent des précédentes formations parce que sa structure est évolutive. Ceci signifie qu'en tant que de besoin, il est possible à l'avenir d'ajouter de nouvelles thématiques.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En constituant des sessions en multi-spécialités, la formation RAF AERO® contribue au décloisonnement et permet le brassage des cultures en dynamisant les compétences inter-spécialités autour de problématiques rencontrées par les militaires exerçant au sein de spécialités de l'aéronautique militaire. Depuis 2020, les questionnaires de satisfaction utilisés systématiquement à l'issue de chaque session de formation des animateurs à l'IRBA font état d'un très bon niveau de satisfaction (≥ 97 % D'un point de vue qualitatif, les animateurs signalent fréquemment l'intérêt de mieux comprendre les collègues d'autres spécialités et le fait d'une meilleure appréhension de leurs contraintes dont ils n'avaient généralement pas ou peu conscience ou encore qu'ils avaient eu tendance auparavant à minimiser. Le fait d'échanger avec des collègues d'une autre spécialité, qui représentent des membres d'un exo-groupe à leurs yeux, leur permet au fil des échanges de mieux les connaître et de remettre en perspective certaines idées reçues et préjugés, facilitant ainsi le travail entre équipes professionnels de spécialités distinctes.

Cette évolution dans les formations CRM exposée à partir du cas de la formation RAF AERO® est une première étape vers une ouverture des autres formations au CRM à l'inter-spécialité au sein de l'aéronautique militaire.

Ainsi, dans les années à venir, les formations au CRM destinées aux forces armées vont probablement devoir évoluer pour prendre en compte de nouveaux défis liés à l'évolution du contexte des opérations militaires. Ce sera le cas avec l'évolution des situations opérationnelles militaires du futur, avec : 1) des situations de plus en plus caractérisées par un environnement complexe, le plus souvent dégradé, incertain et ambigu (Maranian, 2015), 2) une connectivité forte entre les différents acteurs (agissant en vol, au sol, en systèmes habités ou non-habités), avec l'introduction accrue de l'Intelligence Artificielle (IA) comme aide à la décision et la gestion de données comme sur le système SCAF (Système de Combat Aérien du Futur), 3) une interopérabilité qui prend tout son sens « dans la recherche d'une vision partagée » pour « pouvoir faire face à tout type de menace (…)»(Pena, 2021, p. 59), 4) l'usage de l'IA et les problématiques d'interface Humain qui en découlent (Boy, 2022), tels que le concept de partenariats Humain-IA satisfaisants, la construction de la confiance collective et collaborative, la gestion des problématiques de conflits/dilemmes moraux et éthiques dans les processus de décision peu à peu imbriqués avec l'IA. Les futures formations au CRM devront mettre l'accent sur le développement de la capacité des opérateurs à faire face tout autant aux situations complexes, nouvelles, ambigües liées à ces nouvelles menaces qu'aux situations imprévisibles (Darses, 2021).

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ensemble des personnes qui ont contribué à l'élaboration de la formation RAF AERO® : M. Patrice Ménard, Mme Lydia Caramico, M. Fabien Segura, M. Xavier Mahoudeaux, Commandant William Turpin et l'ensemble des membres du Groupe de travail « RAF-AERO ».

7. BIBLIOGRAPHIE

Amalberti, R. (1996). *La conduite de systèmes à risques*. Paris : Presses universitaires de France. (2ème édition 2001).

Boy, G.A., (2022). La machine comme partenaire. La question du *Human Autonomy Teaming*. Opérations multi-milieux / multi-champs, *Vortex*, 3, pp. 73-99.

Cannon-Bowers, J.A., Salas, E. & Converse, S. (1993). Shared mental models in expert team decision making. In N.J. Castellan (Ed.), *Current issues in individual and group decision making* (pp. 221-247), Hilldale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Casse, C. & Caroly, S. (2017). Enrichir le retour d'expérience par les espaces de débats : l'exemple d'une recherche-intervention chez un exploitant de tunnels routiers. *Le travail humain*, 3(80), 259-284.

Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G. & Scheller, L. (2000). Entretiens en auto-confrontation croisée : une méthode en clinique de l'activités, Pistes, 2(1). Retrieved from https://journals.openedition.org/pistes/3833

Dahmann, J. S. (2015). Systems of systems characterization and types. Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications (*STO-EN-SCI-276*), 1-14.

Daniellou, F., Boissières, I., Simard, M. (2010). Les facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle : un état de l'art. *Les cahiers de la sécurité industrielle*, numéro 2010-02, p.*125*. Institut pour une Culture de la Sécurité Industrielle. Toulouse. France.

Darses, F. (2021). *Former au cognitive readiness : le modèle TrioSkillsCrisis*. Recueil des actes Self (p. 504- 509).55ème congrès international de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF). Paris.

https://ergonomie-self.org/wp-content/uploads/2021/01/SELF-2020-actes.pdf

Endsley, M.R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. In P*roceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting* (pp. 97-101), Santa Monica, CA: Human Factors Society.

Flin, R., Martin, L., Goeters, K. M., Hormann, H. J., Amalberti, R., Valot, C., & Nijhuis, H. (2003). Development of the NOTECHS (non-technical skills) system for assessing pilots' CRM skills. *Human factors and aerospace safety*, 3, 97-120.

Fornette, M.-P. & Jollans, J.-Y. (2016). Quatre générations de formations CRM. In M.-P.Fornette, J.-Y. Jollans (Coord), *Former les équipes à la sécurité et à la performance avec le Crew Resource Management* (pp. 17-20). Toulouse, FR : OCTARES.

Portal, T. (2009). Entretien avec Claude Gilbert. Crises, risques et vulnérabilités : un point sur l'état de la recherche. In T. Portal. *Crises et facteur humain. Les nouvelles frontières mentales des crises.* (pp. 45-54). Paris: Éditions De Boeck Université.

International Civil Aviation Organization (2009). *Safety Management manual (SMM)*. 2nd edition. ICAO Publishing, Montreal, Canada.

Jollans, J.-Y., Lachèze, S., Fornette, M.-P. & Darses, F. (2013). *Crew Resource Management dans la défense : formation aux facteurs humains pour la sécurité et la performance au travail*. Recueil des actes Self (p. 345- 352). 48ème congrès international de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF). Paris. https://ergonomie-self.org/wp-content/uploads/2017/02/SELF-Recueil-Actes-2013.pdf

Lachèze, S. & Ferrari, V. (2010). *Acquiring team-level performance for UAS mission*. 27th International Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS).

Lot, L., Magnin, F., Moreau, A. & Valot, C. (2016). Du CRM vers l'ORM. In M.-P.Fornette, J.-Y. Jollans (Coord), *Former les équipes à la sécurité et à la performance avec le Crew Resource Management* (pp. 174-182). Toulouse, FR : OCTARES.

Luthans, F., Avolio, B. J., Avey, J. B., & Norman, S. M. (2007). Positive psychological capital: Measurement and relationship with performance and satisfaction. *Personnel psychology*, *60*(3), 541-572.

Maranian, S.J. (2015). NATO Interoperability: sustaining trust and capacity within the alliance. *Research Paper*, n°115. NATO defense college, Rome.

Marchand, A. L. (2009). *Usage des récits expérientiels et des savoirs épisodiques dans l'apprentissage de la gestion des risques* (Doctoral dissertation, Conservatoire national des arts et métiers).

Noël, J.-C. (2021). Les origines américaines du concept Multi-Domain. Opérations multi-milieux / multi-champs, *Vortex*, 1, pp. 25-37.

Owen, C. A. (2007). Analyse de l'activité de travail dans la gestion des situations d'urgence. *@ctivités*, *4*(1), 207-216.

Pena, L. (2021). Le C2 Air multidomaines ou l'art de maîtriser la complexité. Opérations multi-milieux / multi-champs, *Vortex*, 1, pp. 53-64.

Reason, J. (1993). L'erreur humaine. Coll. *Le Travail Humain. Presses Universitaires de France, Paris*.

Rogers, C.R. (2013). Liberté pour apprendre. Edition Dunod. Paris. (Traduction de l'ouvrage publié en langue anglaise sous le titre *Freedom to learn* par Charles E . Merril Publishing Company).

Salas, E., Prince, C., Bowers, C.A., Stout, R.J., Oser, R. L., Cannon-Bowers, J. A. (1999). A methodology for enhancing Crew Resource management training, *Human Factors*, 41, pp. 161-172.

Wilson, K. A., Rosen, M. A., Salas, E., Robinson, D. W., & Augenstein, J. S. (2008, September). Improving Shared Cognition in Forward Surgical Teams: From Theory to Learning Strategies. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 52, No. 19, pp. 1430-1434). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

CL : *Accidents d'hélicoptère militaire et étatique : une analyse des Facteurs Organisationnels et Humains.*

Bourgeon Léonore[1], Lambert Mandy[2], Morisson Damien[1], Mecheri Sami[1] & Vacher Anthony[1]

[1] Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), Brétigny-sur-Orge, France

leonore.bourgeon@intradef.gouv.fr ; damien.morisson@intradef.gouv.fr ; sami.mecheri@def.gouv.fr ; anthony1.vacher@intradef.gouv.fr

[2] Bureau Enquête Accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É), Villacoublay, France

mandy.lambert@intradef.gouv.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'identifier les Facteurs Organisationnels et Humains impliqués dans les accidents et incidents graves d'hélicoptère militaire et étatique survenus sur une période de 10 ans entre 2010 et 2019. Une analyse de 47 rapports d'enquête a été réalisée. Les causes identifiées dans les rapports ont été codées avec le système de classification et d'analyse des facteurs humains « HFACS ». Les résultats montrent que les types d'accident les plus fréquents sont les heurts d'obstacles, les défaillances dans l'exécution d'une manœuvre de pilotage et les défaillances techniques. Les actes non sûrs les plus fréquents sont l'« évaluation inadéquate du risque », relative à un défaut de conscience de la situation, et le « défaut de balayage visuel », identifiés respectivement dans 59 % et 42% des rapports. Les conditions préalables les plus fréquentes sont les « conditions environnementales affectant la perception visuelle » et les défaillances liées au « leadership ». Des recommandations visant à améliorer la prévention de ces types d'accidents sont proposées en discussion.

MOTS-CLÉS

Analyse d'accidents, Facteurs Organisationnels et Humains, Gestion des risques, Aéronautique

1. INTRODUCTION

Le pilotage d'hélicoptère est une activité particulièrement contrainte qui se distingue de l'activité de pilotage d'avion de par le plus grand degré de liberté de manœuvrabilité de l'aéronef et par des situations de vol variées pouvant confronter les équipages à des risques élevés, comme les vols en basse altitude ou encore des poser en zone exiguë qui confrontent les équipages à un risque élevé de heurt d'obstacle (Ziv, 2020). Ces spécificités impliquent pour les pilotes d'hélicoptère, à la fois un haut niveau d'habiletés perceptivo-motrices passant par la maîtrise de manœuvres de pilotage exigeantes (par exemple, les auto-rotations), et un niveau élevé de compétences socio-cognitives, en particulier pour développer et maintenir, au sein de l'équipage, une conscience de la situation suffisante pour détecter des changements parfois imprévus et prendre des décisions adaptées (Endsley, 2018) dans un environnement pouvant évoluer très rapidement.

Par rapport au domaine civil, les missions relatives aux vols d'hélicoptère militaire et étatique sont particulièrement risquées et exigeantes. Par exemple, les missions de l'Armée de l'Air et de l'Espace recouvrent des missions de recherche et sauvetage, de transport de troupes et de matériels en territoire hostile ou encore des missions d'évacuation sanitaire. Il s'agit de vols réalisés dans des zones parfois non connues des équipages, contraignant la préparation de la navigation et l'anticipation des spécificités des zones survolées, ces vols pouvant, de surcroît, se dérouler de nuit avec jumelles de vision nocturne, sous pression temporelle, et avec parfois, la présence de menaces ennemies. Ces spécificités se sont traduites en France, en 2019, par un taux d'accidents d'hélicoptères « moyens »

militaires et étatiques d'environ 5,5 accidents ou incidents graves pour 100 000 heures de vol, taux plus élevé que celui des avions de transport et des avions de chasse, qui étaient respectivement d'environ 2,7 et 5,2 accidents pour 100 000 heures de vol (BEA-É, 2019). L'évolution de ce taux d'accidents depuis 2003 révèle une tendance à l'augmentation, puisqu'il était d'environ 2,2 accidents ou incidents graves d'hélicoptère pour 100 000 heures de vol.

L'étude des accidents d'hélicoptères civils survenus en Europe en 2019 (EASA, 2020) montre des différences de caractéristiques d'accidents en fonction du type de mission des vols d'hélicoptère. Tout d'abord, plus de la moitié des accidents (57%) survenant lors de missions spéciales (par exemple, recherche et sauvetage ou transport de matériel avec hélitreuillage) ont eu lieu lors de la phase de vol opérationnelle, tandis que pour les vols commerciaux, c'est lors de la phase d'atterrissage que les accidents sont survenus le plus fréquemment (40%). Les problématiques de sécurité diffèrent également puisque les accidents en mission spéciale sont plus fréquemment associés à des défaillances de conscience de la situation, tandis que pour les vols commerciaux, il s'agit des défaillances techniques. Ces différences mettent en avant le fait que les spécificités des vols peuvent entraîner des profils d'accidents différents.

La compréhension des causes d'accident constitue l'un des leviers d'amélioration de leur prévention. L'un des modèles de causalité d'accident les plus fréquemment utilisés est celui de Reason (1990) ou « *swiss cheese model* » qui postule que l'accident d'un système complexe découle d'une chaîne de causes allant de défaillances actives directement liées aux actions des opérateurs, à des défaillances latentes situées à différents niveaux de l'organisation du travail. Le système de classification et d'analyse des facteurs humains « HFACS » (*Human Factors Analysis and Classification System*) (Wiegmann & Shapell, 2001) a été conçu sur la base de ce modèle pour aider à identifier et catégoriser les causes FOH des accidents. Il suppose présenter l'ensemble des causes possibles d'accidents aériens sur quatre niveaux : les actes non sûrs (niveau 1), les conditions préalables aux actes non sûrs (niveau 2), la supervision locale (niveau 3) et l'organisation (niveau 4), chacun de ces niveaux étant influencé par le niveau supérieur. Cet outil a été utilisé dans de nombreuses études portant sur la mise en évidence de profils de causes d'accident dans différents domaines du transport (par exemple : Zhan, Zheng, & Zhao, 2017 ; Chauvin et al, 2013 ; Tvaryanas & Thompson, 2008).

Dans le cas de l'analyse d'accidents d'hélicoptères civils, l'outil HFACS a été utilisé pour analyser une période de 10 ans d'accidents survenus en Nouvelle-Zélande (1996-2005) et 20 ans (1986-2005) au Royaume-Uni. Les résultats confirment, comme dans l'aviation, que la majorité des accidents sont dus à des défaillances de pilotage, avec 69% des accidents survenus en Nouvelle-Zélande et 58% au Royaume-Uni (Majumbar, Mak & Lettington, 2009). Plus précisément, ce sont les erreurs de jugement/décision qui sont identifiées dans la majorité des accidents (50% en Nouvelle-Zélande et 55% au Royaume-Uni), contre 30% pour les deux pays pour les erreurs liées à l'exécution d'une action et 4% (Nouvelle-Zélande) et 1% (Royaume-Uni) pour les violations de procédures. Dans le même sens, une analyse avec l'outil HFACS des rapports d'enquête impliquant des hélicoptères civils au Brésil, entre 2006 et 2015, montre que ce sont les erreurs de jugement/décision qui sont identifiées dans la majorité des accidents (68%) contre 60% pour les erreurs liées à l'exécution d'une action et 33% pour les violations de procédures (Filho et al., 2019). Les conditions du vol les plus fréquemment identifiées étaient l'environnement technologique (3% des rapports nouveaux-zélandais, 4% des anglais et 14% des brésiliens), l'environnement extérieur (15% des rapports brésiliens) et le travail en équipage (3% des rapports nouveaux-zélandais, 4% des anglais et 9% des brésiliens). Les facteurs organisationnels relevaient majoritairement d'une supervision locale inadéquate (14% des rapports nouveaux-zélandais, 23% des anglais et 46% des brésiliens) et du processus organisationnel (4% pour les rapports anglais et 15% des rapports brésiliens).

Le contexte spécifique des missions militaires et étatiques nous amène à émettre l'hypothèse de caractéristiques ainsi que de profils de causes liées aux Facteurs Organisationnels et Humains (FOH)

des accidents d'hélicoptère militaire différents de ceux observés dans le domaine civil. Tout comme les missions spéciales, nous nous attendons à observer plus d'accidents en phase opérationnelle que lors des autres phases de vol. Du fait des nombreux vols en basse altitude, et du nombre élevé de manœuvres de pilotage exigeantes effectuées dans des conditions contraintes, nous nous attendons à observer un plus grand nombre d'accidents de heurts d'obstacles et d'accidents liés à des manœuvres de pilotage que les autres types d'accident. En termes de causes FOH, nous nous attendons, comme pour les missions spéciales, à observer plus d'erreurs en lien avec la conscience de la situation, ainsi que des causes liées aux capacités attentionnelles, à la fatigue et au ressenti de pression, pouvant traduire la difficulté de ces vols exigeants. Afin de vérifier ces hypothèses, une analyse des rapports d'enquête de sécurité publiés par le BEA-É sur une période de 10 ans, entre 2010 et 2019, a été réalisée. Cette analyse permettra de proposer des pistes de recommandations contribuant à la prévention des accidents des hélicoptères militaires et étatiques.

2. METHODE

2.1. Base de données des rapports d'enquête et critères d'exclusion

Tous les rapports d'enquête de sécurité relatifs à des accidents ou incidents graves survenus à des hélicoptères entre 2010 et 2019, publiés par le Bureau Enquête Accident pour la sécurité de l'Aéronautique d'État (BEA-É), en charge des enquêtes d'événements graves aériens survenus à des aéronefs militaires et étatiques en France, ont été pris en compte. Ont été exclus les rapports protégés en termes de diffusion, les rapports menés en collaboration et dirigés par un autre bureau d'enquête et ceux rapportant des accidents non relatifs à l'activité de pilotage. Les hélicoptères impliqués appartenaient à l'Armée de Terre, l'Armée de l'Air et de l'Espace, la Marine Nationale, la Gendarmerie Nationale, la Sécurité Civile, les Douanes ou à des constructeurs.

Tous les directeurs d'enquête du BEA-É suivent la même formation, tant sur les aspects techniques de l'enquête que sur les aspects FOH de l'analyse des accidents. En outre, ils sont formés à l'outil HFACS dont l'usage est recommandé pour mener l'enquête.

2.2. Variables recueillies

Cinq variables caractérisant le contexte du vol et les conséquences de l'événement ont été identifiées. Concernant le contexte, les informations ont été recueillies soit dans le résumé du rapport, soit dans la première partie du rapport décrivant les faits de manière plus détaillée ; concernant les conséquences, les informations ont été recueillies dans la partie « conséquences » du rapport :

- *Type d'accident.*— Une catégorisation a été créée afin d'identifier des types d'accident indépendamment de la phase de vol dans laquelle il était survenu. Cette catégorisation est présentée dans la partie résultat.
- *Objet du vol.*— L'objet du vol a été classé en quatre catégories : mission opérationnelle, vol de liaison, entraînement, vol d'instruction.
- *Phase de vol.*— Quatre phases de vol ont été distinguées : décollage, croisière, opération et atterrissage.
- *Conséquences humaines.*— Ces conséquences ont été considérées en termes de gravité avec deux niveaux : 1) les conséquences graves incluaient la survenue de décès et/ou de blessés (dans l'appareil ou au sol) ; 2) les conséquences peu graves où aucune personne (ni dans l'appareil, ni au sol) n'a été blessée.
- *Conséquences matérielles.*— Ces conséquences ont été considérées en termes de gravité en trois niveaux : hélicoptère intègre, endommagé ou détruit.

2.3. Analyse des causes FOH

2.3.1. Recueil des causes FOH identifiées dans les rapports d'enquête

Le recueil des causes FOH des accidents a été réalisé en deux étapes : 1) Quatre experts en analyse des FOH des accidents, ont traité chacun, de manière indépendante, une partie des rapports d'enquête. Chaque unité de sens (phrase ou paragraphe) révélant une cause était identifiée et placée dans un tableau en format Excel. Ces causes des accidents étaient relevées dans les parties « Analyse » et « Conclusion » des rapports ; 2) Trois de ces experts se sont réunis afin d'affiner, par consensus, l'identification des causes : distinguer les causes des conditions dans lesquelles l'accident est survenu, distinguer les causes relevant des FOH de celles ne relevant pas des FOH et enfin supprimer les redondances (une même cause pouvait apparaître plusieurs fois dans un même rapport et formulée de manière différente). Le tableau final comportait les causes FOH en ligne auxquelles étaient associées la référence du rapport (un même rapport comportait plusieurs causes).

2.3.2. Processus de codage des causes FOH

Le système HFACS, version 7.0 (Air Force Safety Center, 2015), a été utilisé pour catégoriser les causes FOH identifiées dans les rapports. Trois ergonomes, dont deux chercheurs, utilisant fréquemment la grille HFACS dans le cadre d'expertise dans l'analyse FOH d'accidents aériens, ont procédé au codage des causes. Le codage a été réalisé en 2 étapes : 1) deux ergonomes ont codé, de manière indépendante, toutes les causes identifiées dans l'ensemble des rapports d'enquête. Chacune de ces causes a été identifiée comme l'un des items de la grille HFACS ; 2) une confrontation des deux codages a été réalisée en présence des trois ergonomes et, en cas de désaccord, une discussion était menée en reprenant le rapport associé, afin d'aboutir à un consensus. Si plusieurs causes différentes d'un même rapport renvoyaient à un même item de la grille HFACS, cet item était compté autant de fois qu'il renvoyait à une cause différente. Le degré d'accord inter-codeurs pour l'ensemble des items de la classification a été évalué grâce à un Kappa de Cohen qui atteignait 0,695, ce qui correspond à un accord fort.

3. RESULTATS

3.1. Enquêtes incluses et niveau de gravité

Entre 2010 et 2019, 157 rapports d'enquête ont été publiés par le BEA-É. Parmi ceux-ci, 56 concernaient au moins un hélicoptère, ce qui représente près de 36% des accidents et incidents graves survenus à des aéronefs étatiques. Sur ces 56 rapports d'enquête, 48 ont été rendus publiques, dont un non relatif à l'activité de pilotage. Au total, l'étude a porté sur 47 rapports d'enquête relatifs à des accidents ou incidents graves d'hélicoptères militaires et étatiques.

Ces événements sont caractérisés par des conséquences humaines importantes puisque près de la moitié ont provoqué des décès et/ou des blessures (45%), les décès étant survenus dans 15% de ces accidents. A noter que le nombre d'accidents provoquant des décès et/ou des blessures a augmenté (mais non significativement) durant cette période, puisque ces accidents représentaient 33% des accidents survenus entre 2010 et 2014, puis 54% entre 2015 et 2019.

En termes de conséquences matérielles, l'impact de ces accidents est également important puisque seuls 3 hélicoptères sur les 47 sont restés intègres et 10 ont été totalement détruits.

3.2. Types d'accident, phases de vol et objet du vol

L'analyse des types d'accident a permis de mettre en évidence 6 catégories principales : les HEURTS D'OBSTACLE (heurts de câble, végétation ou relief), les DEFAILLANCES DANS L'EXECUTION D'UNE MANŒUVRE DE PILOTAGE (par exemple, mise en stationnaire, auto-rotation, exécution d'un virage), les

COLLISIONS EN VOL et les IMPACTS AU SOL SANS PERTE DE CONTROLE, catégories qui relèvent directement de l'activité de pilotage et les DEFAILLANCES TECHNIQUES ainsi que les DEFAILLANCES DE MANŒUVRABILITE DUES A UN ELEMENT EXTERIEUR (treuil coincé, phénomène aérologique), catégories qui ne relèvent pas directement de l'activité de pilotage mais qui requièrent une adaptation de la part de l'équipage.

L'analyse montre que ce sont les HEURTS D'OBSTACLE qui sont les types d'accident les plus fréquents (28%), suivis par les DEFAILLANCES DANS L'EXECUTION D'UNE MANŒUVRE DE PILOTAGE (26%), puis les DEFAILLANCES TECHNIQUES (21%). Les DEFAILLANCES DE MANŒUVRABILITE DUES A UN ELEMENT EXTERIEUR représentent 13% des accidents, les IMPACTS AU SOL SANS PERTE DE CONTROLE représentent 8% et enfin les COLLISIONS EN VOL sont les moins fréquents avec 4% des accidents. Bien que la répartition des types d'accidents soit significativement différente d'une répartition équilibrée [Khi2(5) = 12,87 ; $p < .05$], seule la faible représentation des COLLISIONS EN VOL y contribue significativement.

Au total, les accidents dont les causes sont directement en lien avec l'activité de pilotage représentent 67% des événements analysés, proportion significativement plus élevée que ceux non directement liés à l'activité de pilotage [$\chi^2(1) = 4,79$; $p < .05$]. De plus, l'analyse montre que ce type d'accidents a augmenté significativement pendant cette période : les événements relevant directement de l'activité de pilotage concernaient 48% des événements survenus entre 2010 et 2014 contre 81% entre 2015 et 2019 [$\chi^2(1) = 5,68$; $p < .05$].

L'analyse par phase de vol montre une répartition significativement différente selon les phases [$\chi^2(3) = 20,66$; $p < .001$] : les phases de vol lors desquelles surviennent le plus d'accidents sont les phases d'opération (49% des accidents) et d'atterrissage (32%) contre 11% des accidents en phase de croisière et 8% au décollage. Ces phases de vol sont caractérisées par des types d'accident spécifiques : 39% des accidents en phase d'opération sont des HEURTS D'OBSTACLE tandis que 53% des accidents survenant à l'atterrissage sont liés à des DEFAILLANCES DANS L'EXECUTION D'UNE MANŒUVRE DE PILOTAGE.

Enfin, l'analyse du nombre d'accidents par objet de vol ne révèle pas de différence significative : les missions opérationnelles représentent 38% des accidents, les vols d'entraînement, 32% des accidents et les vols d'instruction, 26% des accidents. Seuls les vols de liaison sont sous-représentés avec 4% des accidents, ce qui pourrait être expliqué par le fait que ces vols exposent à moins de contraintes de pilotage que les autres objets de vol.

3.3. Causes FOH

L'analyse des causes FOH montre que les 4 niveaux de causes de la classification HFACS apparaissent chacun dans plus de 70% des rapports.

Les actes non sûrs (niveau 1) sont identifiés dans 93,6% des rapports, les erreurs liées à l'exécution d'une action étant celles identifiées dans la plus grande part des rapports (78,7%). Parmi celles-ci, la plus fréquemment observée est celle liée à des « défauts de balayage visuel » (42% des accidents). L'analyse par nature des actes non sûrs (Figure 1) montre cependant que l'acte non sûr le plus fréquemment observé est une erreur de jugement/décision, l'« évaluation inadéquate du risque », qui apparaît dans plus de 59% des rapports d'enquête. Le « suivi incorrect des procédures » est le troisième acte non sûr qui apparaît dans plus de 38% des rapports.

Les conditions préalables (niveau 2) sont identifiées en tant que facteurs d'accident dans 95,7% des rapports, les deux catégories les plus fréquemment identifiées étant les *facteurs psycho-comportementaux* (72,3%) et les *facteurs cognitifs* (70,2%). L'analyse par nature de facteur montre que 4 facteurs apparaissent dans plus de 35% des rapports d'enquête. Les « conditions environnementales affectant la perception visuelle » apparaissent dans près de 49% des rapports d'enquête et appartiennent à la catégorie des facteurs liés à l'*environnement extérieur.* Le « leadership » apparaît dans 42% des rapports et la « planification de la mission ou adéquation des briefings » est identifiée

dans 38% des rapports, tous deux appartenant à la catégorie *travail d'équipe.* Enfin, la « fixation attentionnelle » est identifiée dans 36% des rapports et appartient à la catégorie *facteurs cognitifs*. Pour la catégorie des *facteurs psycho-comportementaux*, les plus fréquemment observés sont l' « excès de confiance » et la « pression » qui apparaissent tous deux dans 34% des rapports d'enquête. Parmi les *facteurs physiologiques*, seule la « fatigue » a été identifiée dans les enquêtes, et ce, dans 21% des rapports. Parmi les facteurs liés à l'*environnement technologique*, ce sont les « restrictions visuelles » qui sont le plus fréquemment identifiées (19% des rapports). Enfin, dans la catégorie des *facteurs perceptifs*, c'est la « perception erronée de l'environnement » qui est le plus fréquemment rencontré (13% des rapports).

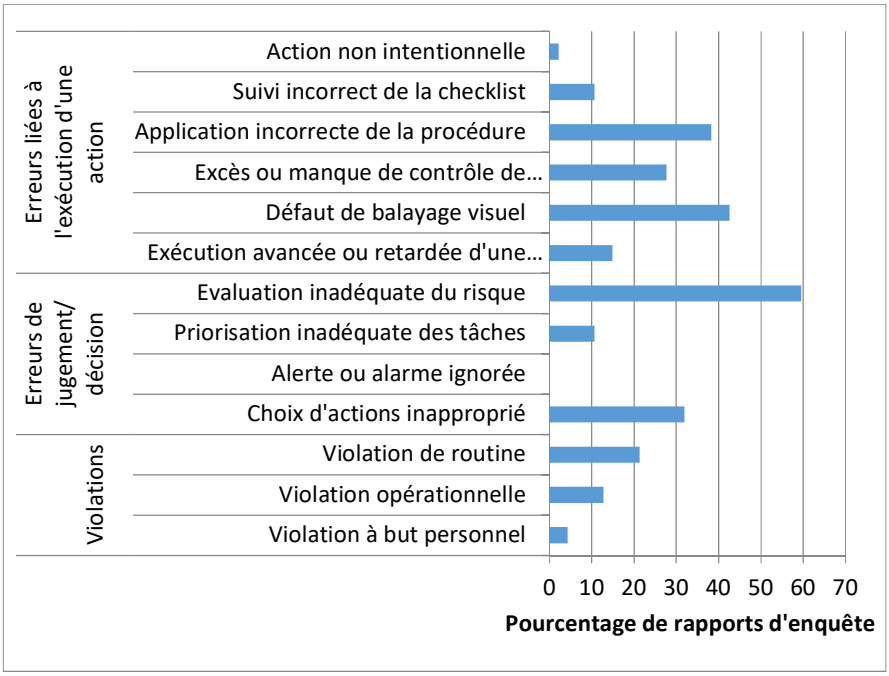


Figure 1 : Pourcentage de rapports d'enquêtes dans lesquels sont identifiés les actes non sûrs.

Au niveau de la supervision (niveau 3), ce sont les facteurs liés à une *supervision inadéquate* qui les sont plus fréquemment observés (61,7% des accidents), dont le facteur lié à un « manque de conseils » (36% des accidents), et pour le niveau organisationnel (niveau 4), il s'agit des facteurs liés au *processus organisationnel* (72,3% des accidents), le facteur le plus fréquemment observé étant « la fourniture de procédures inadéquates » (43% des accidents).

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de caractériser les causes FOH des accidents d'hélicoptère militaire et étatique grâce à une analyse de 47 rapports d'accident et incident grave survenus sur une période de 10 ans entre 2010 et 2019 publiés par le BEA-É. Les résultats montrent que, durant cette période, le nombre de rapports annuels est resté stable mais que la proportion d'accidents en lien direct avec l'activité de pilotage était plus importante dans les 5 dernières années en atteignant 81% d'accidents entre 2015 et 2019. Cette proportion se rapproche de celles observées dans une analyse de 10 ans d'accidents d'hélicoptères civils en Nouvelle-Zélande et 20 ans au Royaume-Uni, avec respectivement 69% et 58% des accidents liés à des défaillances de pilotage (Majumbar, Mak, Lettington & Nalder, 2009). Il se rapproche également du résultat d'une analyse de 10 ans de rapports d'enquêtes relatives à des accidents d'hélicoptères médicaux aux Etats-Unis caractérisés par 64% d'erreurs humaines

(Bledsoe & Smith, 2004). Ce résultat confirme la nécessité de centrer les actions de prévention des accidents sur les Facteurs Organisationnels et Humains (FOH) qui représentent la majorité des causes des accidents d'hélicoptère militaire et étatique.

Les résultats ont permis de mettre en évidence les types d'accidents caractérisant les hélicoptères militaires. Trois types d'accidents apparaissent comme plus fréquents. Les deux plus fréquents confirment notre hypothèse : ce sont les heurts d'obstacles, qui représentent 28% des accidents, et les défaillances dans l'exécution d'une manœuvre de pilotage qui représentent 26% des accidents. Ces types d'accidents sont en lien avec la nature des vols requis dans les missions militaires, c'est-à-dire fréquemment des vols en basse altitude et des vols demandant l'exécution de manœuvres de pilotage exigeantes. Enfin, les défaillances techniques représentent 21% des accidents. Cette problématique de sécurité est également observée parmi les trois problématiques les plus fréquentes des accidents d'hélicoptère civil européen (EASA, 2020). En termes de phases de vol, les résultats obtenus se rapprochent de ceux observés aux hélicoptères civils en mission spéciale en Europe où 57% de ces accidents surviennent en phase opérationnelle (EASA, 2020) contre 49% dans notre étude.

Concernant l'analyse des causes FOH, il peut être noté que les rapports d'enquête publiés par le BEA-É fournissent une analyse approfondie des causes puisque les quatre niveaux de la classification HFACS apparaissent dans plus de 70% des rapports. Comparativement, les niveaux 3 et 4 ne sont identifiés que dans 23% et 4% respectivement, d'une analyse de 20 ans de rapports d'enquêtes britanniques (Majumbar, et al, 2009). Sur l'ensemble des 47 rapports analysés, l'acte non sûr le plus fréquemment observé est l'évaluation inadéquate du risque, qui peut être lié à un défaut de conscience de la situation, que l'on retrouve également comme la cause principale des accidents d'hélicoptère en mission spéciale (EASA, 2020). Le deuxième acte non sûr le plus représenté est celui des défauts de balayage visuel qui sont le plus souvent associés à une absence de détection d'une information visuelle critique. Dans le même sens, les conditions préalables aux actes non sûrs les plus fréquentes sont les conditions environnementales qui affectent la perception visuelle et qui sont identifiées dans près de la moitié des accidents. Ces résultats vont dans le sens de missions militaires qui confrontent les équipages à des vols souvent en basse altitude, avec parfois peu de temps pour préparer la navigation, et nécessitant ainsi une attention accrue pour maintenir la conscience de la situation au fur et à meure de l'évolution du vol et des conditions parfois changeantes de l'environnement. Le niveau d'exigence en termes d'attention visuelle caractérise est donc caractérisé ici par des situations accidentogènes où sont observés des balayages visuels défaillants dans des conditions affectant la perception visuelle. Le leadership apparaît également dans 42% des accidents en tant que deuxième condition préalable la plus fréquente. Ce taux élevé peut être expliqué par le fait que la hiérarchie joue un rôle important dans les équipages militaires, ce qui peut se traduire par des difficultés à exprimer des doutes de la part du pilote qui serait moins gradé. La fatigue et la pression apparaissent également fréquemment, comme nous l'attendions, caractérisant les contraintes que peuvent rencontrer les pilotes militaires.

Afin de contrer les difficultés liées aux fortes exigences en termes d'attention visuelle et à la détection d'informations visuelles critiques, de nombreuses études ont porté sur le développement d'entraînement au balayage visuel, en particulier grâce à l'utilisation d'*eye-trackers* permettant d'obtenir un feed-back sur la direction du regard du pilote, aussi bien pour l'entraîné que pour l'entraîneur, qui permet d'améliorer l'efficacité des scans visuels et ainsi de la performance de pilotage (Ziv, 2020 ; Robinski & Stein, 2013 ; Sullivan, Yang, Day & Kenney, 2011). Le développement des nouvelles technologies peut aussi jouer un rôle très important, tant dans l'aide à la détection d'informations visuelles critiques de l'environnement que, plus globalement, pour aider à élaborer rapidement une conscience de la situation dans cet environnement fortement contraint. C'est le cas, par exemple, de la conception d'interfaces spécifiquement dédiées à la représentation des informations de l'environnement (Stanton, Plant, Roberts & Allison, 2019). En ce qui concerne les

entraînements dans des dispositifs de simulation, outil principal pour développer la compétence d'élaboration de la conscience de la situation dans les environnements complexes et à risques, le développement de simulations immersives permet aujourd'hui de tester de nouvelles configurations d'entraînement et peut représenter un nouvel atout pour consolider cette compétence en vol (Clifford, McKenzie, Lukosch, Lindeman & Hoermann, 2020).

5. BIBLIOGRAPHIE

Air Force Safety Center (2015). *DoD Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Version 7.0.* Department of Defense.

Bledsoe, B. E., & Smith, M. G. (2004). Medical helicopter accidents in the United-States : A 10-year review. *The Journal of Trauma, 56*, 1325-1329.

Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'Etat (2019). *Rapport d'activité 2019.*

Chauvin, C., Lardjane, S., Morel, G., Clostermann, J.-P., & Langard, B. (2013). Human and organisational factors in maritime accidents: Analysis of collisions at sea using the HFACS. *Accident Analysis and Prevention, 59*, 26-37. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.006.

Clifford, R. M. S., McKenzie, T., Lukosch, S., Lindeman, R. W., & Hoermann, S. (2020). The effects of Multisensory Aerial Firefighting Training in Virtual Reality on Situational Awareness, Workload, and Presence. In *Proceedings of 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW),* pp. 93-100. https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00023.

Endsley, M. R. (2018). Expertise and situation awareness. In K. A. Ericsson, R. R. Hoffman, A. Kozbelt, & A. M. Williams (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 714–741). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316480748.037.

European Union Aviation Safety Agency (2020*). Annual Safety Rview 2020*. https://doi.org/10.2822/147804.

Filho, A. P. G., Souza, C. A., Siquieira, E. L. B., Souza, M. A., & Vasconcelos, T. P. (2019). An analysis of helicopter accident reports in Brazil from a human factors perspective. *Reliability Engineering and System Safety*, *183*, 39-46. https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.11.003.

Majumbar, A., Mak, K., Lettington, C., & Nalder, P. (2009). A causal factors analysis of helicopter accidents in New-Zealand 1996-2005 and the United Kingdom 1986-2005. *The Aeronautical Journal*, *113*(1148), 647-660.

Meland, A., Ishimatsu, K., Pensgaard, A. M., Wagstaff, A., Fonne, V., Garde, A. H., & Harris, A. (2015). Impact of mindfullness training on physiological measures of stress and objective measures of attention control in a military helicopter unit. *The International Journal of Aviation Psychology, 25(3-4)*, 191-208. Doi :10.1080/10508414.2015.1162639.

Reason, J. (1990). The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *237*(1241), 475-484.

Robinski, M., & Stein, M. (2013). Tracking visual scanning techniques in training simulation for helicopter landing. *Journal of Eye Movement Research, 6*(2), 1–17.

Stanton, Plant, Roberts & Allison. (2019). Use of Highways in the Sky and a Virtual Pad for Landing Head Up Display Symbology to enable improved Helicopter Pilots Situation Awareness and Workload in Degraded Visual Conditions. *Ergonomics, 62*(2), 255-267.

Sullivan, J., Yang, J.H., Day, M., & Kennedy, Q. (2011). Training simulation for helicopter navigation by characterizing visual scan patterns. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 82*(9):871–878.

Tvaryanas, A. P., & Thompson, W. T. (2008). Recurrent Error Pathways in HFACS Data: Analysis of 95 Mishaps with Remotely Piloted Aircraft. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 79*(5), 525-532.

Wiegmann, D., & Shappell, S. (2001). Human error analysis of commercial aviation accidents : Application of the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *72*, 1006-1016.

Zhan, Q, Zheng, W., & Zhao, B. (2017). A hybrid human and organizational analysis method for railway accidents based on HFACS-Railway Accidents (HFACS-RAs). *Safety Science, 91*, 232-250. http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.017.

Ziv, G. (2020). The Need for Eye Tracking Studies in Helicopter Pilots: A Position Stand. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Eye-Tracking in Aviation Article (ETAVI 2020)*, pp. 94-99. https://doi.org/10.3929/ethz-b-000407657.

Session M2 : Activité avec des exosquelettes

1 Communication Longue (= CL) et

2 Communications Courtes (= CC)

CL : *Sapeurs-pompiers et désincarcération : effet du port d'un exosquelette sur la charge cognitive et l'acceptation.*

Sophie Lemonnier, Laura Cavagnac, Nathan Kohili, Kévin Bouillet, Pauline Maurice & Guillaume Mornieux.

Université de Lorraine, PErSEUs, F-57000 Metz, France ; sophie.lemonnier@univ-lorraine.fr

Université de Lorraine, PErSEUs, F-57000 Metz, France ; laura.cavagnac@yahoo.com

Université de Lorraine, DevAH, F-54000 Nancy, France ; nathan.kohili.pro@gmail.com

Université de Lorraine, DevAH, F-54000 Nancy, France ; kevin.bouillet@univ-lorraine.fr

Université de Lorraine, CNRS, Inria, Loria, F-54000 Nancy, France ; pauline.maurice@loria.fr

Université de Lorraine, DevAH, F-54000 Nancy, France ; guillaume.mornieux@univ-lorraine.fr

RÉSUMÉ

En France, plus de 80% des maladies professionnelles sont des troubles musculosquelettiques, et les sapeurs-pompiers (SP) sont particulièrement à risque. Notre objectif était de tester les effets de la solution exosquelette pour ce corps de métier. Cette étude compare deux conditions de réalisation d'une tâche de désincarcération par des SP : avec et sans exosquelette. L'impact est évalué sur l'activité musculaire des membres supérieurs (EMG), sur les ressources cognitives (NASA-TLX), et sur l'acceptation (questionnaire). Les résultats n'ont montré quasiment aucune différence au niveau musculaire, et pour la charge cognitive, seulement une fatigue physique ressentie plus faible avec l'exosquelette, ce qui nous conduit à parler d'effet placebo du port de l'exosquelette. L'évaluation de l'acceptation de l'exosquelette semble être globalement favorable. Cependant, des limites à cette étude sont discutées, notamment celles liées à la taille et aux caractéristiques de notre échantillon.

MOTS-CLÉS

Sapeurs-pompiers, Désincarcération, Exosquelette, Charge cognitive, Acceptation.

INTRODUCTION

1.1. Sapeurs-pompiers, TMS et solution exosquelette

En 2020, les sapeurs-pompiers (SP) français ont effectué plus de 4 millions d'interventions, soit près de 12 000 interventions par jour, dont 84% sont des secours d'urgence aux personnes. Leurs missions sont généralement sollicitantes mentalement et physiquement, et impliquent très fréquemment du port de charge, sans compter la tenue de feu qui pèse déjà environ 20 kg (Stenger, 2018). Pour pouvoir être recrutés, les SP doivent présenter des paramètres anthropométriques et avoir une condition physique compatible avec leur activité opérationnelle selon l'arrêté du 26 janvier 2013 (Stenger, 2018). Ils suivent ensuite des entraînements physiques réguliers afin de maintenir leur condition physique pour leur sécurité et celle des victimes, et préservent ainsi la survenue de douleurs, de troubles musculosquelettiques (TMS) ou de maladies cardiovasculaires (Puchaud, 2020).

Malgré cela, d'après la Banque Nationale de Données (BND), les lésions les plus fréquentes chez les SP sont les atteintes ostéoarticulaires et/ou musculaires (environ 30% des accidents de service). Ils sont également atteints de douleurs et de lumbago dans 12% des accidents de service. Ces atteintes peuvent conduire à différents types TMS, le dos et les membres supérieurs étant les plus touchés. Il est rapporté dans la littérature qu'une forme plus ou moins grave de TMS est diagnostiquée chaque semaine chez les SP (Nazari et al., 2020).

Les TMS sont des pathologies d'origine professionnelle qui se manifestent en premier lieu par des douleurs et de la fatigue musculaire et qui peuvent conduire à une incapacité chronique. En 2021, un total de 40 852 TMS ont été recensés en France, ce qui représente 86% des maladies professionnelles (Assurance maladie, 2022). D'après le modèle dynamique proposé par l'INRS (Wioland et al., 2019b), les TMS sont le résultat d'une combinaison de facteurs psychosociaux (i.e, relations au travail, intensité et complexité de la tâche, exigences émotionnelles, autonomie…), du stress, de l'organisation du travail (i.e., horaires, rythme, conditions d'exécution de la tâche, formation, délai de réalisation, le temps de récupération…) et des sollicitations biomécaniques (i.e., répétitivité des gestes, adoption de postures contraignantes, port de charges, exposition aux vibrations…). Les sollicitations biomécaniques sont centrales dans l'apparition des TMS, cependant les autres facteurs ont également un rôle prépondérant. En effet, une forte charge mentale, une forte demande psychologique en lien avec une faible latitude de décisions, sont des causes présentes chez des personnes souffrant de TMS (Bongers et al., 2002).

Différentes études ont montré que l'utilisation d'un exosquelette permettrait une réduction des contraintes musculosquelettiques (de Looze et al., 2016 ; Theurel & Desbrosses, 2019). Ces études n'ont pas spécifiquement étudié les tâches d'intervention chez les SP. Nous avons donc voulu investiguer si le port d'un exosquelette pouvait être une solution pour diminuer les TMS chez les SP, comme c'est de plus en plus le cas dans le milieu industriel.

1.2. Charge cognitive, acceptabilité et problématique

La majorité des études qui ont été réalisées sur l'utilisation d'exosquelette s'accorde sur une baisse de 10 à 60% du niveau d'activité des muscles assistés par le dispositif comparé à la réalisation d'une même tâche sans exosquelette (Theurel & Claudon, 2018). Cela confirme le potentiel de l'usage de ces nouvelles technologies en milieu professionnel. Cependant, cette nouvelle technologie présente certaines limites qui peuvent engendrer des conséquences sur la santé et la sécurité des utilisateurs (Theurel & Claudon, 2018). En effet, l'utilisation d'un exosquelette peut augmenter le temps de réaction (Bequette et al., 2020) et peut générer des risques en lien avec la charge cognitive (augmentation des exigences attentionnelles, incidence sur l'expertise, perte de contrôle et d'autonomie). Cela peut modifier la perception que l'utilisateur a de sa tâche, avoir un impact sur le regard des autres et générer une augmentation de la charge cognitive et du stress chez l'agent utilisateur et donc diminuer voire annuler les bénéfices de l'exosquelette au niveau de la charge physique (Zhu et al., 2021).

La charge cognitive correspond à la quantité de ressources cognitives investie par un individu lors de la réalisation d'une tâche (Chanquoy et al., 2007). Une évaluation subjective de la charge de travail, et notamment des exigences mentales, peut être faite grâce à des questionnaires comme le *National Aeronautics and Space Administration Task Load indeX* (NASA-TLX ; Larue, 2002).

Par ailleurs, l'acceptabilité, qui prédit l'intention d'utilisation (Barcenilla & Bastien, 2009), est également impactée négativement par l'augmentation de la charge cognitive (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009). Il est alors primordial, en plus d'évaluer l'impact sur la charge physique et cognitive, de prendre en compte les critères d'acceptabilité et d'acceptation propres à la population qui a pour vocation d'être équipée, afin d'identifier les éventuels points bloquants et ainsi limiter les phénomènes

de rejet du dispositif (Wioland et al., 2019b). On parle d'acceptabilité lorsque l'on étudie les intentions d'utilisation chez les non-utilisateurs et d'acceptation si on étudie l'usage effectif du dispositif chez les utilisateurs (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009). Sur la base du travail de Bobillier-Chaumon (2016), l'INRS a élaboré un questionnaire visant à évaluer la notion d'acceptabilité des exosquelettes par les utilisateurs et d'identifier les points bloquants et facilitants, les effets en termes de santé et de sécurité, et de comprendre l'interaction entre l'utilisateur et l'exosquelette (Wioland et al., 2019a). Ce questionnaire est structuré selon six dimensions inspirées du modèle UTAUT (Venkatesh et al., 2003) : la facilité d'utilisation, les attentes de performance (ou l'utilité perçue) en termes de productivité et de santé et sécurité, les conditions facilitantes, l'influence sociale, les aspects sur l'identité professionnelle et les affects (ressenti de l'utilisateur).

Notre étude avait donc un double objectif : 1/ comparer des conditions avec et sans exosquelette afin d'estimer son impact sur l'activité musculaire des membres supérieurs et les ressources cognitives ; 2/ étudier le niveau d'acceptation de l'exosquelette et les raisons sous-jacentes.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Participants

La population étudiée est composée de 12 SP du SDIS54 (Service Départemental d'Incendie et de Secours de Meurthe & Moselle), tous de sexe masculin, 5 SP volontaires et 7 professionnels. Ils avaient en moyenne 31,25 ans (ET = 9) et une ancienneté moyenne de 10,58 ans (ET = 9,14). Huit d'entre eux exercent à la caserne Nancy-Tomblaine, les autres viennent du Centre de formation Kléber, de l'Etat-Major et des casernes de Haraucourt et Einville-au-Jard. Les participants sont en bonne santé, et n'ont pas eu de traumatismes des membres supérieurs ou du rachis au cours des six derniers mois, et étaient déclarés aptes à intervenir sur un secours réel de désincarcération.

2.2. Tâche de désincarcération

La tâche choisie pour l'étude est la manipulation de l'écarteur et de la cisaille (Holmatro) lors d'un parcours de désincarcération. Ils sont tous deux électriques et portatifs (sur batterie). La cisaille permet de sectionner la tôle et les montants de porte des véhicules et l'écarteur permet aux SP d'écarter et de travailler la tôle des véhicules. Pour ouvrir et fermer les pinces de découpe ou d'écartement, il faut tourner une poignée située à l'arrière, soit dans un sens, soit dans l'autre. L'effort est donc uniquement lié au port des outils et à leur manipulation. Ils pèsent tous deux environ 22 kg.

Le parcours consiste en l'écartement et la découpe de différents éléments d'une voiture (Figure 1, photos sur OSF). Il a été défini en collaboration avec le SDIS54, afin de couvrir les gestes et postures typiques de la désincarcération, tout en étant suffisamment répétable pour que les données obtenues puissent être comparées d'un essai à un autre. Ce parcours a été réalisé uniquement à l'extérieur du véhicule, le participant n'est jamais rentré dans le véhicule. Chacune des étapes était minutée afin que les essais soient comparables. A noter que l'objectif n'était pas la découpe du véhicule en soi, mais bien la manipulation des outils. Le parcours complet a une durée de 3 minutes.

Figure 1 : Les 5 étapes de la tâche de désincarcération.

2.3. Exosquelette

L'exosquelette d'assistance aux membres supérieurs Mate-XT (développé et commercialisé par la société Comau20) a été utilisé (photos sur OSF). Il est portable et passif (non motorisé) car il fonctionne à base de stockage d'énergie avec des ressorts. Le système se porte comme un sac-à-dos, avec une ceinture à boucle au niveau des hanches, des straps au niveau des bras et une sangle au niveau de la poitrine. Il pèse environ 4 kg. Il est réglable en plusieurs points pour s'adapter à différentes morphologies. Le système fournit une assistance aux épaules lors de l'élévation du bras : il permet de compenser une partie du poids de la charge soulevée, en reportant une partie de l'effort sur les hanches, grâce au système de ressort et à la structure rigide. L'assistance est réglable avec une molette selon huit niveaux, l'assistance maximum de 6 kg par bras a été utilisée pour l'ensemble de l'étude.

2.4. Outils de mesures

EMG : Pour tester l'effet du port de l'exosquelette au niveau musculaire, 14 électrodes d'électromyographie (EMG) de surface Snap-Lead ont été placées de manière bilatérale pour enregistrer l'activité musculaire du dos, de l'épaule et du bras (recommandations de Seniam ; trapèzes supérieurs, longitisumus dorsi, érecteurs spinaux, brachioradialis, triceps brachial, biceps brachial, deltoïdes antérieurs ; fréquence de capture 1926 Hz). Les données étaient enregistrées avec le logiciel Delsys EMG Work.

Questionnaire NASA-TLX : Afin d'évaluer la charge de travail, nous avons fait passer un NASA-TLX (Cegarra & Morgado, 2009). Ce questionnaire se focalise sur 6 facteurs (Exigence mentale, physique et temporelle, Effort, Performance et Frustration), et s'effectue en deux temps : 1/ estimer l'impact de chaque facteur grâce à six échelles ; 2/ comparer les facteurs deux à deux grâce à quinze cartes.

Questionnaire acceptation (OSF) : Afin d'évaluer l'acceptation de l'exosquelette, les SP ont répondu à un questionnaire inspiré de celui proposé par l'INRS (Wioland et al., 2019b). Il est structuré en six dimensions : la facilité d'utilisation, les attentes de performance en termes de productivité et de santé et sécurité, les conditions facilitantes, l'influence sociale, les aspects sur l'identité professionnelle et les affects. Les modalités de réponses suivent une échelle de Likert en 5 points.

2.5. Protocole expérimental

L'expérimentation s'est déroulée à la caserne de Nancy-Tomblaine. Le participant, préalablement informé de l'expérience, de ses droits et des risques, a signé le formulaire consentement éclairé. Les capteurs EMG ont été placés après une phase de préparation de la peau (rasage, abrasion et désinfection de la zone). Il a ensuite été invité à réaliser des mouvements aléatoires et à manipuler une chaise pendant quelques instants afin de se familiariser avec l'exosquelette. Puis il a commencé le parcours de désincarcération. Chaque participant a effectué deux fois le parcours, une fois avec l'exosquelette et une fois sans, avec un repos de quelques minutes entre les deux. L'ordre des deux conditions a été contrebalancé. A l'issue de chaque essai, le participant a répondu au NASA-TLX, puis, à la fin des deux essais, au questionnaire d'acceptation. Le participant était ensuite déséquipé. La durée totale de l'expérimentation a été de 3 heures maximum.

2.6. Analyse des données

Le signal EMG a été nettoyé avec un filtre Butterworth d'ordre 4. En raison de la non-normalité des données, des tests de Wilcoxon signed-rank ont été effectués, avec un risque d'erreur de 5%. Pour le questionnaire NASA-TLX, le protocole du test a été suivi afin d'obtenir deux notes : un score global par condition (avec / sans exosquelette), puis pour chaque facteur, son poids et sa note brute. Les données suivant une loi normale (Test Shapiro-Wilk), un *t* de Student a été appliqué sur les scores

globaux, avec un risque d'erreur de 5%. Pour l'évaluation de l'acceptation, une analyse descriptive a été conduite par dimension.

3. RESULTATS

3.1. Activité musculaire

Une différence significative a été observée pour le biceps brachial droit (p = 0,04) avec une augmentation en moyenne de 10% lors du port de l'exosquelette. Aucune différence significative n'a été observée pour les autres muscles.

3.2. Charge cognitive

Pour le score global, la différence sans (53,8 ± 9,6) et avec (49,7 ± 9,5) l'exosquelette est non significative ($t(11) = 1,37$, $p = 0,20$). Les résultats montrent qu'il existe une différence significative entre les deux conditions uniquement pour le facteur Exigence physique ($t(11) = 2,45$, $p = 0,03$), avec un score plus important sans exosquelette (265 ± 85,1) plutôt qu'avec (216 ± 78,2).

		1	2	3	4	5
Cond. Facili.	Mise à disposition des info. nécessaires	0	0	2	5	5
	Personne désignée pour aider	0	1	1	5	5
	Soutien des collègues	0	0	0	5	7
		0%	**3%**	**8%**	**42%**	**47%**
Facilité d'utilisation	Facilité de mise en place	0	1	3	6	1
	Rapidité d'apprentissage	0	0	0	10	2
	Niveau de concentration plus important	2	6	3	0	1
	Besoin de faire des réajustements	8	3	1	0	0
	Facilité d'utilisation	0	1	1	9	1
	Facilité de déplacement	0	2	3	4	3
	Facilité de mouvement	0	2	5	5	0
	Contrôle de gestes	1	2	2	6	1
	Pas de sensation d'empêchement de travailler	0	1	4	4	3
		10%	**17%**	**20%**	**41%**	**11%**
Dim. Sociale	Responsable favorable	0	1	1	5	5
	Direction favorable	0	0	1	8	3
	Collègues favorables	0	3	2	6	1
	Personnes importantes favorables	0	1	1	8	2
		0%	**10%**	**10%**	**56%**	**23%**
Identité pro.	A sa place dans mon travail	0	0	5	2	5
	Valorisation du métier	0	3	6	3	0
	Reconnaître son travail	0	1	2	3	6
	Développement de nouvelles compétences	2	1	5	4	0
		4%	**10%**	**38%**	**25%**	**23%**
	Pertes de compétences	7	4	1	0	0
Affects	Anxiété	6	4	1	1	0
	Nervosité	6	3	3	0	0
	Isolement	6	4	2	0	0
		50%	**31%**	**17%**	**3%**	**0%**
	Enthousiasme	1	1	2	7	1
	Agréabilité	1	1	2	7	1
	Aimer travailler avec	0	0	4	6	2
	Confiance	0	0	3	8	1
		4%	**4%**	**23%**	**58%**	**10%**
Sécurité	Amélioration des conditions de travail	1	1	3	7	0
	Sécurité	0	1	4	6	1
		4%	**8%**	**29%**	**54%**	**4%**
Production	Vitesse	0	2	8	2	0
	Productivité	0	1	7	4	0
	Efficacité	0	0	5	6	1
	Qualité	0	0	8	4	0
		0%	**6%**	**58%**	**33%**	**2%**
Santé	Efforts physiques	0	9	3	0	0
	Fatigue	0	5	7	0	0
		0%	**58%**	**42%**	**0%**	**0%**

Tableau 1 : Réponses recueillies pour différentes dimensions du questionnaire d'acceptation (effectif par item, converti par bloc en pourcentage). Les items étaient évalués selon une échelle de Likert en 5 points allant de Pas du tout d'accord (1) à Tout à fait d'accord (5), à l'exception des deux derniers blocs (« Production » et « Santé ») évalués de Beaucoup moins importante à Beaucoup plus importante.

3.3. Evaluation de l'acceptation

Pour « Conditions facilitantes », 90% des personnes disent avoir bénéficiées de Réunion, Formation, Procédure et Suivi. Pour les trois autres items (Table 1), la majorité des participants semble avoir un avis plutôt positif. Pour « Facilité d'utilisation », seule la nécessité de faire des réajustements et la concentration supplémentaire semblent inquiéter certains participants. Pour « Attentes de performance » de production et de sécurité (Table 1), la majorité des participants ont trouvé la situation identique voire meilleure avec l'exosquelette. En termes de santé, environ la moitié des participants ont observé une amélioration des conditions de travail, et l'autre moitié n'a souligné aucune amélioration. Pour « Gènes et douleurs » (Table 2), lors de l'utilisation de l'exosquelette, 2/3 des participants n'ont observé aucun changement et 1/3 une diminution de la gêne. Aucun participant n'a souligné l'apparition d'une gêne ou douleur avec l'exosquelette. Pour « Influence sociale », « Identité professionnelle » et « Affects » (Table 1) : la majorité des participants a pensé être soutenu socialement (responsable, direction, collègue, personne importante) dans l'utilisation de l'exosquelette. Les avis concernant l'identité professionnelle étaient relativement neutres. Même s'ils ne pensaient pas que l'exosquelette leur ferait perdre des compétences, ils estimaient qu'ils n'en acquerront pas non plus de nouvelles. Concernant les affects négatifs, les participants répondaient globalement ne pas en ressentir à l'égard de l'utilisation d'un exosquelette. En revanche, les affects positifs entrainaient des réponses plus nuancées, mais globalement positives.

	Sans changement	Diminution/Disparition	Aggravation/Apparition
Rachis cervical	9	3	0
Epaules	7	5	0
Membres supérieurs	5	7	0
Dos	6	5	0
Membres inférieurs	10	2	0
Genoux	10	2	0
	66%	**34%**	**0%**

Tableau 2 : Réponses recueillies pour la dimension « Gènes et douleurs ».

4. DISCUSSION

4.1. « Effet placebo » et acceptation de l'exosquelette

L'objectif de cette étude était double, il s'agissait de comparer deux conditions de réalisation de la tâche de désincarcération, avec et sans exosquelette, afin d'estimer l'impact de celui-ci sur l'activité musculaire des membres supérieurs et les ressources cognitives, ainsi que d'en évaluer l'acceptation.

Les résultats sur l'activité musculaire montrent que l'exosquelette dans cette étude ne réduit pas l'effort physique au niveau des membres supérieurs, voire semble l'augmenter pour le biceps droit. Cependant, quand on s'intéresse à la charge de travail et plus spécifiquement à l'exigence physique ressentie, on observe une diminution de celle-ci avec le port de l'exosquelette. On peut alors se demander si l'exosquelette n'a pas un effet placébo sur les participants.

Concernant l'acceptation de l'exosquelette, on peut conclure que la majorité des participants sont favorables à sa mise en place au sein de leur caserne. Les principales raisons de l'acceptation sont : les conditions facilitantes, c'est-à-dire ce que l'organisation va mettre en place en termes d'informations, de formation, de suivi, et la facilité d'utilisation du système. Cela comprend : la mise en place, l'apprentissage, la nécessité de faire des réajustements, la concentration nécessaire ou encore la facilité de déplacement et de mouvement. En revanche, l'influence sociale, notamment la perception des collègues et des personnes importantes pour l'utilisateur, ainsi que le ressenti de l'utilisateur vis-à-vis du dispositif, s'avèrent être les principales raisons du rejet de l'exosquelette.

Les résultats de ces études sont globalement cohérents avec les résultats de l'étude menée par l'INRS en 2019 (Wioland et al., 2019b). En effet, comme pour notre étude, les résultats montraient que les conditions facilitantes constituent une des raisons de l'acceptation. En revanche, les résultats de l'INRS diffèrent des nôtres au niveau des dimensions portant sur les attentes de performance et l'influence sociale. Cela peut être dû au corps de métier interrogé (opérateur versus SP) ou à l'exosquelette utilisé. De plus, dans notre étude, nous évaluions l'acceptation après un seul usage de l'exosquelette, ce que nous évaluons est donc très proche de l'acceptabilité. Il serait intéressant de réitérer les différentes mesures, et notamment l'acceptation, après un usage régulier de cet outil.

4.2. Choix de l'exosquelette

Lors des expérimentations, l'exosquelette ne pouvant être mis en-dessous de la tenue de feu des SP, il a été mis au-dessus. Or, dans ce cas, il ne serait pas protégé en cas d'intempéries et les excroissances pourraient constituer des points d'accroche lors de son utilisation à l'intérieur du véhicule. Cet exosquelette ne pourrait donc pas être déployé en l'état sur le terrain et nécessiterait des modifications. Un des SP participants a souligné qu'un exosquelette directement intégré à une veste de feu serait l'idéal en termes de protection du dispositif et de facilité de mise en place.

Les SP étant habitués à porter un appareil respiratoire isolant (ARI) lors de leurs interventions, la mise en place de l'exosquelette leur est facilitée, celui-ci se plaçant a priori au même endroit au niveau du dos et se fixe sensiblement de la même manière. En revanche, l'exosquelette nécessite un réglage préalable à son installation en fonction de la taille de celui qui le porte. Ce détail pourrait être un point bloquant si la morphologie des utilisateurs diffère selon les interventions et que l'exosquelette doit être réglé à chaque utilisation, surtout en situation d'urgence.

Au regard des résultats de l'étude, notamment du point de vue de la charge physique, on peut se demander si le choix d'un exosquelette passif à assistance des membres supérieurs est judicieux. En effet, il apporte une assistance uniquement lorsque les bras sont en l'air, or la manipulation des outils n'implique finalement que très rarement cette posture. L'assistance de l'exosquelette peut également s'avérer trop faible (6 kg par bras) au regard du poids des outils (environ 22 kg) mais ceci est inhérent au système passif de l'exosquelette qui est moins performant qu'un exosquelette actif. De plus, l'exosquelette empêche l'utilisateur de se pencher en avant comme il le souhaite et lui impose de plier les genoux, cependant en situation d'urgence les SP peuvent avoir besoin d'adopter certaines positions que l'exosquelette rend plus difficiles.

4.3. Limites de notre étude et perspectives

Certains déterminants ont pu influencer nos résultats, notamment favoriser l'acceptation : tous les participants étaient volontaires et en bonne condition physique. De plus, ils sont habitués à avoir régulièrement des nouveaux outils dans la caserne avec une formation à ce matériel ce qui peut favoriser l'acceptabilité. En revanche, certains déterminants de l'expérimentation ont pu diminuer l'acceptation de l'exosquelette, dont la durée de l'expérience. De plus, la phase de familiarisation et les phases de test ne durant que quelques minutes, les utilisateurs n'ont eu qu'un court instant pour apprivoiser l'exosquelette et n'ont pas eu le temps de s'habituer à l'utiliser, ce qui a pu influencer leurs réponses, notamment vis-à-vis de leur ressenti.

Plus généralement, nous n'avons pu constituer qu'un petit échantillon, ce qui a pu impacter la significativité des résultats. De plus, nos participants étaient tous masculin. L'absence de participante nous prive de leur ressenti qui peut être différent de celui de leurs collègues masculins. Notamment, n'ayant pas nécessairement les mêmes capacités et caractéristiques physiques, l'assistance apportée par l'exosquelette peut être ressentie différemment. Aussi, l'exosquelette apportant une assistance jusqu'à 6 kg au niveau des membres supérieurs lorsque les bras sont en l'air, il se peut que les bras

soient poussés en avant vers le haut si les triceps ne sont pas contractés. L'exosquelette serait alors une contrainte pour les postures où les bras ne sont pas en l'air. De plus, l'exosquelette étant fixé à l'aide d'une ceinture au niveau des hanches et d'une sangle au niveau de la poitrine, il peut s'avérer moins confortable pour les femmes en raison de leur morphologie. Enfin, les femmes SP sont plus susceptibles que leurs collègues hommes d'être atteintes de TMS (Nazari et al., 2020), l'utilisation d'un exosquelette pourrait donc être bénéfique pour elles, il parait alors nécessaire de les inclure dans une future étude.

Pour finir, lors de l'expérimentation, il n'y avait pas de victime dans le véhicule, la tâche étant guidée avec une temporalité, le participant ne travaillait pas en situation d'urgence, et il n'y avait pas de collègues à proximité hormis celui qui le guidait. Il y avait donc des différences non négligeables avec une situation réelle de désincarcération, ce qui a pu avoir un impact sur la charge cognitive et notamment l'exigence temporelle et mentale. Pour aller plus loin, une analyse située de l'usage de l'outil avec une méthode d'exploration qualitative nous permettrait d'étudier l'acceptation située.

Information complémentaire. Le lien suivant conduit vers une page d'OSF contenant des photos (situation expérimentale, tenu, outil, exosquelette) et le questionnaire d'acceptation développé pour ce travail : https://osf.io/87gnt/?view_only=48c489ad6e5c46b78453e95e89828350

5. BIBLIOGRAPHIE

Barcenilla, J., & Bastien, J. M. C. (2009). L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? Le travail humain, 72(4), 311-331.

Bequette, B., Norton, A., Jones, E., & Stirling, L. (2020). Physical and cognitive load effects due to a powered lower-body exoskeleton. Human factors, 62(3), 411-423.

Bobillier-Chaumon, M. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. Psychologie du Travail et des Organisations, 22(1), 4-21.

Bobillier-Chaumon, M., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle: quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation? Le travail humain, 72(4),355-382.

Bongers, P. M., Kremer, A. M., & Laak, J. T. (2002). Are psychosocial factors, risk factors for symptoms and signs of the shoulder, elbow, or hand/wrist?: A review of the epidemiological literature. American journal of industrial medicine, 41(5), 315-342.

Cegarra, J., & Morgado, N. (2009). Étude des propriétés de la version francophone du NASATLX. In EPIQUE 2009: 5ème Colloque de Psychologie Ergonomique (pp. 233-239). France: Nice.

Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). La charge cognitive : Théorie et applications. A. Colin.

De Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O'sullivan, L. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics, 59(5), 671-681.

L'Assurance Maladie (2022) Rapport annuel 2021 - L'Assurance Maladie - Risques professionnels. L'Assurance Maladie, pp. 1–236.

Larue, J. (2002). La charge mentale de travail. Cahiers de l'INSEP, 33(1), 99-113.

Nazari, G., MacDermid, J. C., Sinden, K., & D'Amico, R. (2020). Prevalence of musculoskeletal symptoms among Canadian firefighters. Work, 67(1), 185-191.

Puchaud, P. (2020). Modélisation musculo-squelettique générique et spécifique en vue du support de l'activité physique du soldat [Thèse de doctorat, École normale supérieure de Rennes].

Stenger C. (2018). Essai de définition des critères anthropométriques au recrutement de sapeurs-pompiers volontaires : une étude qualitative [Thèse de doctorat, Université de Strasbourg].

Theurel J, Claudon L. (2018). Exosquelettes au travail : impact sur la santé et la sécurité des opérateurs état des connaissances. INRS (ED 6311):32.

Theurel, J., & Desbrosses, K. (2019). Occupational exoskeletons: overview of their benefits and limitations in preventing work-related musculoskeletal disorders. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 7(3-4), 264-280.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.

Wioland, L., Debay, L., & Atain-Kouadio, J. (2019a). Acceptation des exosquelettes par les opérateurs : étude exploratoire. Références en santé au travail, 157, 45-61.

Wioland, L., Debay, L., & Atain-Kouadio, J. (2019b). Processus d'acceptabilité et d'acceptation des exosquelettes : évaluation par questionnaire. Références en santé au travail, 160, 49-76.

Zhu, Y., Weston, E. B., Mehta, R. K., & Marras, W. S. (2021). Neural and biomechanical tradeoffs associated with human-exoskeleton interactions. Applied Ergonomics, 96, 103494.

CC : *Le couplage mécanique bras-exosquelette dans l'extéroception humaine.*

Dorine Arcangeli. [1,2]**, Océane Dubois**[3]**, Gabriel Arnold**[2]**, Sylvain Famié**[1]**, Giovannni De Marco**[1]**, Agnès Roby-Brami**[3]**, Nathanaël Jarrassé**[3] **& Ross Parry**[1]

[1]Laboratoire LINP2-2APS, UPL, Université Paris Nanterre, F92000 Nanterre, France

[2]Caylar, Villebon-sur-Yvette

[3]Sorbonne University, Institute of intelligent Systems and Robotics, CNRS UMR 7222, INSERM U 1150, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France

dorine.arcangeli@caylar.net

RÉSUMÉ

Les technologies d'assistance au geste visent à améliorer la performance motrice de l'utilisateur. En revanche, les modifications sensorielles qu'elles peuvent entraîner restent peu étudiées. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet du couplage mécanique du bras à un exosquelette sur la perception haptique des objets. Les participants (N=12) devaient estimer la longueur d'une série de barres tenues à la main, sans retour visuel, et dans des conditions avec et sans exosquelette. L'Expérience 1 a évalué les effets du rattachement de l'exosquelette, avec le maniement de l'objet limité à des rotations du poignet. L'Expérience 2 a évalué l'effet de cette structure et de sa masse, avec des rotations libres du poignet, du coude et de l'épaule. Les résultats de cette étude montrent que les participants ont pu estimer correctement la longueur des barres dans les conditions avec et sans exosquelette pendant les deux expériences. Cela suggère que, même si le port d'un exosquelette rend l'architecture du membre effecteur plus complexe, il n'empêche pas l'intégration des informations mécaniques nécessaires à l'extéroception.

MOTS-CLÉS

Haptique, extéroception, membre supérieur, interaction homme-exosquelette

1. INTRODUCTION

Les technologies d'assistance au geste reposent de plus en plus sur des retours tactiles et kinesthésiques pour faciliter, voire corriger, les mouvements de l'utilisateur. Par exemple, l'activation de vibreurs posés sur la surface de la peau, permet de signaler si le mouvement réalisé est conforme aux consignes. Ou, dans le cas des exosquelettes robotisés, les forces appliquées directement sur les différents segments influencent l'action du membre effecteur, dans ce que l'on appelle la co-manipulation. En même temps, le feedback proposé par ces technologies implique des conséquences sensorielles, notamment au niveau des mécanorécepteurs cutanés et neuromusculaires (Weerakkody et al., 2007). L'augmentation du retour tactile ou kinesthésique peut alors modifier les capacités perceptuelles, nécessaires à la coordination du corps pendant des interactions physiques avec l'environnement.

A ce jour, ces effets des technologies d'assistance sur les capacités perceptuelles restent peu explorés. En effet, les études expérimentales dans ce domaine se focalisent principalement sur le comportement moteur ou l'activation musculaire pendant des gestes simples, tel que le pointage ou le port d'une charge. En revanche, il n'est pas encore établi si les modifications sensorielles et motrices induites par l'utilisation de ces dispositifs ont un impact sur les capacités perceptuelles plus fines, essentielles à la dextérité dans la manipulation d'objet ou l'utilisation d'outils. Dans des conditions

normales, une personne est capable de percevoir les dimensions spatiales d'un objet en le manipulant (Turvey, 1996). Dans ce qui s'appelle l'extéroception, le système nerveux exploite les effets mécaniques associés au mouvement de l'objet (pression, inertie…) pour détecter sa longueur (Turvey & Fonseca, 2014). Le port d'un exosquelette en revanche, modifie de manière importante les dynamiques de ces interactions. En effet, la fixation de l'exosquelette implique une compression locale sur le point d'attachement, tandis que la masse et les conséquences inertielles de cette structure impose une charge additionnelle pendant les mouvements du bras. Ces deux facteurs sollicitent des mécanorécepteurs qui soutiennent ce processus de toucher dynamique lors de l'extéroception. En modifiant la motricité et les retours sensoriels, les technologies d'assistance au geste pourraient donc perturber ces capacités d'extéroception.

Dans cette étude, nous proposons deux expériences pour vérifier si le port d'un exosquelette a un impact sur l'extéroception humaine. La tâche des participants consistait à estimer la longueur d'une série de barres en les manipulant, sans retour visuel. L'Expérience 1 examine les effets du rattachement d'un exosquelette sur le bras, avec des mouvements du poignet uniquement. L'Expérience 2 examine les effets de la masse de l'exosquelette pendant des mouvements du bras entier. Dans les deux cas, notre hypothèse était que le couplage à l'exosquelette, et les modifications de la tension, la compression et la transmission de forces au niveau membre supérieur qu'il implique, exercerait une influence sur la perception de la longueur des objets tenus à la main.

2. METHODE

Douze participants droitiers (4 femmes / 8 hommes, âge moyen 24 ans ± 3 ans) ont participé à cette étude. Ils devaient estimer la longueur d'une série de cinq barres en métal de différentes longueurs (45cm, 60cm, 75cm, 90cm, 150cm ; diamètre 0,03m). Chaque barre avait une forme cylindrique afin d'assurer une répartition de poids régulière. Une marque était inscrite à 1/3 de la longueur pour indiquer la position de la main sur la barre. Chaque participant était installé sur un tabouret, le dos contre un portique, leur vision du bras droit masquée par un drap noir. La tâche consistait à faire bouger l'objet afin de déterminer la longueur qu'il y avait entre leur prise sur la barre et l'extrémité de celle-ci. En même temps qu'ils manipulaient la barre avec le bras droit, les sujets devaient indiquer cette longueur perçue sur un support à leur gauche (voir Figure 1A). Pour les conditions avec exosquelette, un robot ABLE (Haption, France) à quatre degrés de liberté (trois au niveau de l'épaule et un pour la flexion-extension du coude) a été fixé au niveau de l'avant-bras et du haut du bras des participants avec des sangles en mousse et velcro (voir Figure 1B). Les actionneurs vis-câbles de cette technologie le rendent réversible et relativement transparent. Ce protocole a été validé par le comité éthique de recherche à l'Université Paris Nanterre (N°2022-03-04).

A B

Figure 7 *Configuration expérimentale A). Robot ABLE (Haption, France) B).*

L'Expérience 1 avait pour objectif d'évaluer si le simple rattachement du bras à l'exosquelette a un effet sur l'extéroception. Dans la condition avec exosquelette, le robot était fixé de sorte que le bras droit soit positionné le long du corps, le coude en flexion. Les attaches habituelles étaient mises au niveau de l'avant et du haut du bras. Dans la condition sans exosquelette, le bras était posé dans la même posture avec l'aide d'un support horizontal. La consigne était de faire bouger les barres avec uniquement des rotations du poignet afin d'estimer la longueur de chaque barre.

L'Expérience 2 avait pour objectif d'évaluer l'effet de la masse de l'exosquelette sur l'extéroception pendant des mouvements libres du bras. La performance a été évalué dans trois conditions : sans exosquelette, exosquelette en mode transparent et exosquelette éteint. Dans la condition exosquelette éteint le robot n'exerçait aucune contribution au geste, le participant étant obligé de faire les mouvements contre le poids de l'exosquelette. Dans la condition exosquelette en mode transparent, le robot, actif, compensait son propre poids (à l'aide d'une commande de compensation de gravité par anticipation utilisant un modèle quasi-statique), lui permettant de suivre le mouvement humain sans générer de force de résistance perceptible. Dans la condition sans exosquelette, le dispositif était entièrement replié pour ne pas empêcher les mouvements du sujet. La consigne dans les trois conditions était de faire des mouvements avec l'ensemble du membre supérieur (rotations du poignet, coude et épaule) afin d'estimer la longueur des différentes barres.

Tous les participants ont réalisé les deux expériences, dans un ordre contrebalancé. Pour chaque expérience et chaque condition, les participants manipulaient 3 fois chaque barre dans un ordre aléatoire. Pour chacune des deux expériences, des ANOVA à mesures répétées ont été conduites avec les facteurs Longueur réelle de la barre (30cm, 40cm, 50cm, 60cm, 70cm) et Port de l'exosquelette (sans, avec, pour l'Expérience 1 ; sans, éteint, mode transparent, pour l'Expérience 2). Une méthode bayésienne a également été utilisée pour vérifier l'hypothèse nulle dans le cas d'absence d'effet significatif en utilisant les seuils d'interprétation suivants : preuve nulle (BF_{01} 0 à 1), anecdotique (BF_{01} 1 à 3), modérée (BF_{01} 3 à 10) et forte (BF_{01} 10 à 30) (Wagenmakers et al., 2018).

3. RESULTATS

Dans l'Expérience 1, les participants ont été capable d'estimer correctement les longueurs avec une erreur moyenne de 5,03cm (*ET* = 0,96), représentant 10,1 % de la longueur moyenne (50cm) (voir Figure 2A). L'ANOVA montrait un effet significatif de la Longueur réelle sur la longueur perçue (p < 0,001, ηp^2 = 0,869). En revanche, le Port de l'exosquelette n'a pas eu d'effet sur la longueur perçue (p = 0,855, ηp^2 = 0,003). L'analyse bayésienne sur le Port de l'exosquelette a indiqué que les résultats obtenus représentent une preuve modérée en faveur de l'hypothèse nulle (BF_{01} = 5,098) (voir Figure 2B).

Dans l'Expérience 2, l'erreur moyenne était de 2,17cm (*ET* = 1,53), représentant 4.34 % de la longueur moyenne (50cm). L'ANOVA montrait également un effet significatif de la Longueur réelle sur la longueur perçue (p < 0,001, ηp^2 = 0,919) (voir Figure 2C). En revanche, il n'y avait pas non plus de différence significative entre les conditions sans exosquelette, exosquelette éteint et exosquelette en mode transparent (p = 0,396, ηp^2 = 0,080). L'analyse bayésienne sur le Port de l'exosquelette a indiqué que les résultats obtenus représentent une preuve forte en faveur de l'hypothèse nulle (BF_{01} = 14,527) (voir Figure 2D).

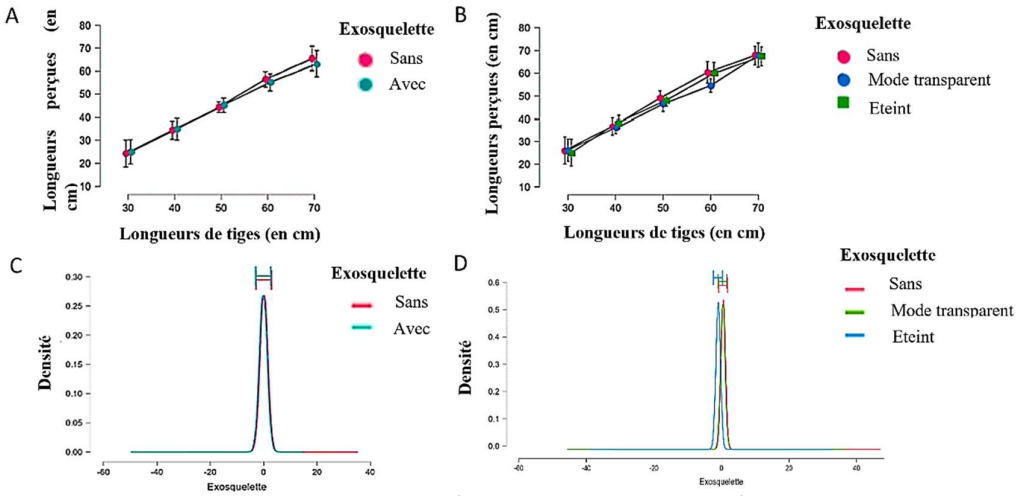


Figure 8 : Perception de la longueur des tiges en fonction de leur longueur réelle lors du maniement- barres d'erreurs décrivant l'intervalle de confiance à 95% A) Expérience 1, B) Expérience 2. Distributions postérieures moyennées par le modèle. Les barres horizontales indiquent les intervalles crédibles à 95% autour de la médiane C) Expérience 1, D) Expérience 2.

4. DISCUSSION

L'objectif de la présente étude était de mieux comprendre dans quelle mesure le port d'un exosquelette influence la perception des objets tenu à la main. Les résultats de nos deux expériences indiquent que le couplage mécanique bras-exosquelette n'empêchent pas cette capacité d'extéroception. Dans les travaux précédents il apparait que l'extéroception est étroitement liée à la capacité à détecter les effets inertiels d'un objet lorsqu'il est manipulé. Ainsi, toute modification de la distribution du poids de l'objet aura pour conséquence une modification de la perception de sa longueur (Turvey, 1996). Dans cette étude, les longueurs perçues étaient comparables aux longueurs réelles des barres malgré la modification mécanique créée par le couplage avec l'exosquelette, tant au niveau du changement de tension (Expérience 1) que de la contrainte de la masse (Expérience 2). Ceci suggère que le système nerveux est capable de dissocier les effets inertiels associés à l'objet, de ceux associés à l'exosquelette. Autrement dit, même si la configuration mécanique, ou l'architecture, du membre effecteur est plus complexe, cela n'empêche pas la transmission des informations mécaniques (Ingber, 2008 ; Turvey & Fonseca, 2014).

Les résultats de cette étude sont favorables pour le développement des exosquelettes comme technologie d'assistance au geste. Ils suggèrent que l'usage de l'exosquelette n'empêcherait pas la perception non-visuelle des outils tenus à la main. En revanche, les expériences proposées ici n'évaluent que les conséquences mécaniques passives associées au port de l'exosquelette. Il est donc difficile d'extrapoler nos observations à une situation de co-manipulation où un robot intervient sur la réalisation d'un geste. Le toucher dynamique reste un processus actif qui dépend des gestes exploratoires efficaces. De plus, certaines études précédentes témoignent que le mouvement initié par l'acteur et la décharge corollaire associée, sont mobilisés pour affiner le traitement du retour sensoriel (Fuentes & Bastian, 2010). Dans une situation où un mode de contrôle robotique change la coordination d'un mouvement planifié, ces capacités de toucher dynamique pourraient se voir plus dégradées (Proietti et al., 2017). Dans la suite de ce travail, il sera donc important d'examiner de manière plus précise les comportements moteurs des participants lors de leur interaction avec l'exosquelette, grâce à des systèmes d'analyse du mouvement. L'intérêt sera d'étudier si différentes stratégies motrices sont mises en place par les sujets face aux contraintes de l'exosquelette, pour percevoir différentes longueurs d'un objet.

5. BIBLIOGRAPHIE

Fuentes, C. T., & Bastian, A. J. (2010). Where Is Your Arm? Variations in Proprioception Across Space and Tasks. *Journal of Neurophysiology*, *103*(1), 164-171. https://doi.org/10.1152/jn.00494.2009

Ingber, D. E. (2008). Tensegrity-based mechanosensing from macro to micro. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, *97*(2-3), 163-179. https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2008.02.005

Proietti, T., Guigon, E., Roby-Brami, A., & Jarrassé, N. (2017). Modifying upper-limb inter-joint coordination in healthy subjects by training with a robotic exoskeleton. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *14*(1), 55. https://doi.org/10.1186/s12984-017-0254-x

Turvey, M. T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, *51*(11), 1134-1152. https://doi.org/10.1037/0003-066X.51.11.1134

Turvey, M. T., & Fonseca, S. T. (2014). The Medium of Haptic Perception : A Tensegrity Hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, *46*(3), 143-187. https://doi.org/10.1080/00222895.2013.798252

Wagenmakers, E.-J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Selker, R., Gronau, Q. F., Dropmann, D., Boutin, B., Meerhoff, F., Knight, P., Raj, A., Van Kesteren, E.-J., Van Doorn, J., Šmíra, M., Epskamp, S., Etz, A., Matzke, D., … Morey, R. D. (2018). Bayesian inference for psychology. Part II : Example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(1), 58-76. https://doi.org/10.3758/s13423-017-1323-7

Weerakkody, N. S., Mahns, D. A., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2007). Impairment of human proprioception by high-frequency cutaneous vibration : Impairment of proprioception by cutaneous vibration. *The Journal of Physiology*, *581*(3), 971-980. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.126854

CC : Les exosquelettes de rééducation : facteurs influençant leur utilisation, avantages et limites perçus en rééducation clinique.

Nawel Ouendi[1], Remy Hubaut[1], Sylvia Pelayo[2], Françoise Anceaux[1], Eugénie Avril[1] & Laura Wallard[1]
[1]LAMIH UMR CNRS 8201, France.
[2]METRICS, ULR 2694.
nawel.ouendi@uphf.fr, Remy.hubaut@gmail.com, Eugenie.avril@uphf.fr,Sylvia.pelayo@univ-lille.fr, anceauxfrancoise1@gmail.com, Laura.wallard@uphf.fr

RÉSUMÉ

Malgré leur efficacité, les exosquelettes de rééducation sont encore peu utilisés lors de la prise en charge clinique. Le but de cette étude était d'analyser les facteurs perçus facilitant l'utilisation ainsi que les limites perçues par les thérapeutes utilisateurs du Lokomat®. Pour ce faire, le questionnaire *SUS* ainsi qu'un entretien semi-directif, basé sur le modèle *UTAUT*, ont été menés auprès de 18 thérapeutes. Les entretiens mettent en évidence les facteurs perçus par les thérapeutes, tels que l'intensité du mouvement, la complémentarité avec la rééducation conventionnelle, l'importance de l'ergonomie de l'exosquelette mais aussi de l'interface, et la facilité de compréhension. Ils ont également montré les barrières perçues comme le manque de maitrise, les bugs. Les résultats du *SUS* ne montrent aucun effet utilisateur (*e.g.*, expérience en rééducation robotisée, durée d'utilisation des exosquelettes, expertise en clinique, etc.). En conclusion, les résultats montrent une réelle envie d'utiliser le Lokomat®, les exosquelettes de rééducation présentant une plus-value dans la prise en charge rééducative.

MOTS-CLÉS

Exosquelette ; Rééducation ; Technologie d'assistance ; System Usability Scale (SUS), Acceptation.

1. INTRODUCTION

De nos jours, les orthèses motorisées des membres inférieurs, également appelées exosquelettes motorisés, peuvent être utilisées en rééducation de la marche (Baud et al., 2021). Cette dernière consiste en l'application de méthodes thérapeutiques (manuelles et/ou instrumentales) dans le but de restaurer et de récupérer les fonctions motrices par l'optimisation de la marche, ainsi que de réduire les conséquences des lésions cérébrales sur les fonctions motrices. Elle met aussi en œuvre d'éventuelles stratégies motrices de remplacement des fonctions endommagées (Wallard et al., 2017). Le Lokomat® est actuellement l'exosquelette le plus courant en clinique et notamment dans la rééducation de personnes présentant des troubles posturo-locomoteurs (Wallard et al., 2015 ; 2018). Le Lokomat® fait partie des premiers exosquelettes de rééducation associant un tapis roulant avec allègement corporel à une orthèse robotisée pour les membres inférieurs (Hocoma, 2009 ; Colombo et al., 2000 ; David, 1989). Ces méthodes de rééducation se basent principalement sur un processus d'automatisation du mouvement de marche *via* un travail sur la répétition intensive de ce dernier. À ce jour, les exosquelettes de rééducation sont malheureusement encore très peu utilisés par les thérapeutes. Or, peu de recherches étudient les apports et les limites de ce type de dispositif, en analysant les notions d'acceptabilité et d'acceptation chez les professionnels de la santé.

Selon Bobillier-Chaumon et al. (2009), l'acceptation repose sur l'analyse de l'impact de l'utilisation de la technologie sur différents aspects de l'activité professionnelle. Les recherches font souvent appel à la notion d'acceptabilité, dont il existe deux types (Nielson, 1994), à savoir : «

l'acceptabilité pratique » et « *l'acceptabilité sociale* ». Dans cette étude, nous nous intéresserons à l'acceptabilité pratique qui se concentre sur les expériences des personnes dans la vie réelle. Bien que de nombreux modèles théoriques aient tenté de rendre compte des déterminants d'acceptation, le modèle les plus utilisé reste le TAM (Technology Acceptance Model) (Davis, 1989) et ses variantes (TAM 2,3, UTAUT) qui évaluent les contraintes et les contradictions propres à l'activité lors de sa réalisation.

L'objectif de cette recherche était d'analyser et de mettre en évidence les perceptions des cliniciens sur les apports et limites pouvant influencer leur utilisation des exosquelettes en rééducation lors de la prise en charge clinique des patients adultes.

2. METHODE

2.1. Participants

De janvier 2020 à juin 2020, les 24 établissements français utilisant le Lokomat® ont été contactés par courriel et/ou par téléphone. Parmi ces 6 structures ayant répondu positivement, 18 cliniciens (8 kinésithérapeutes, 8 enseignants en Activités Physiques Adaptées, et 2 médecins) ont accepté de participer à l'étude et ont répondu au questionnaire System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996). Cependant, à cause de la crise sanitaire et des contraintes associées, seuls 8 d'entre eux ont pu passer les entretiens semi-directifs (6 entretiens effectués en présentiel, puis 2 en entretiens téléphoniques).

2.2 Procédure

Les entretiens en présentiel ainsi que téléphoniques se déroulaient tous de la même façon dans une pièce isolée avec l'interviewé et l'expérimentateur pendant une durée moyenne de 30 minutes.

2.3. Entretiens

La méthode choisie pour traiter nos données a été l'analyse de contenu, utilisée pour *« analyser des textes, c'est-à-dire des écrits ou des paroles enregistrées et transcrites* » (Henry et al., 1968). Pour mener ces analyses, les interviews individuelles semi-directives ont été menées à l'aide d'un guide d'entretien basé sur le modèle UTAUT (Venkatesh et al., 2000). Neuf thèmes principaux de cette méthode ont été ciblés : la performance perçue, l'effort perçu, la maîtrise, le coût, l'influence sociale, l'importance du robot dans la rééducation, les attentes, le relationnel, les thèmes émergents.

2.4. Questionnaire SUS

Le SUS se compose de 10 questions utilisant une échelle de Likert. Il permet de déterminer le niveau de satisfaction des utilisateurs d'un service ou d'un système. Dans notre étude, le SUS nous a permis d'évaluer la facilité d'utilisation du Lokomat®.

2.5. Statistiques questionnaire SUS

Pour l'étude des scores SUS, des statistiques non-paramétriques ont été utilisées, car les données ne suivaient pas une distribution normale. Pour cela, nous avons choisi le U de Mann Whitney U, qui nous permet de tester l'hypothèse que les médianes de chacun des deux groupes de données sont égales. Puis, nous avons utilisé l'Anova de Kruskal Wallis, un test non-paramétrique alternatif à l'Anova unidirectionnelle (entre groupes). De plus, le Chi² a été utilisé pour comparer les distributions des réponses aux différentes échelles SUS.

3. RESULTATS

3.1 Entretiens

L'analyse du contenu des 8 entretiens a permis de mettre en évidence les aspects facilitants l'utilisation et la non-utilisation du Lokomat® par les thérapeutes de manière quantitative (comptabilisation du nombre d'occurrences et de répétition des sous-thématiques dans chaque interview). Comme le montre la figure 1, les thématiques suscitant le plus d'occurrences sont la maîtrise (n=74/299), la performance perçue (n=66/299) et le relationnel (n=31/299).

Nous avons constaté que pour la thématique maîtrise, il y a autant de citations pour les sous-items menant à une non-utilisation qu'à une utilisation de l'outil robotisé (sentiment de maîtrise, réglages /paramètres/ les bugs). Pour la performance perçue, il y a plus d'occurrences des sous-items menant à une utilisation (n=49/66) qu'à une non-utilisation (n=17/66) (figure 1).

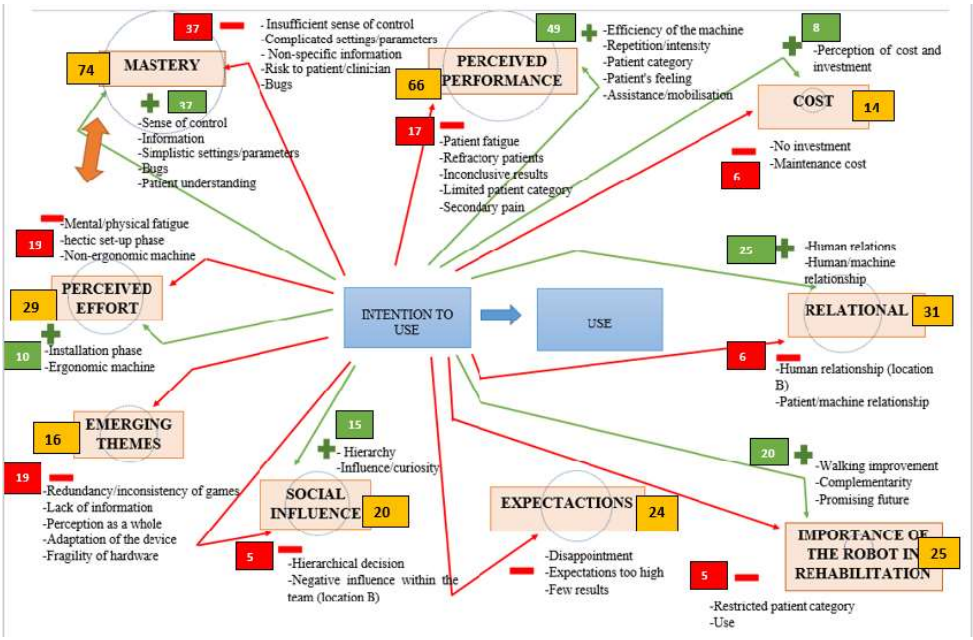


Figure 1 : Diagramme des différents facteurs influençant l'utilisation ou la non-utilisation du Lokomat®

Rectangle orange : 9 thèmes identifiés dans les entretiens (modèle UTAUT) **Flèches rouges** : éléments conduisant à une non-utilisation de l'exosquelette**. Flèches vertes** : éléments conduisant à l'utilisation de l'exosquelette. **Double flèche orange** : lien entre maîtrise et effort (une bonne maîtrise permet une installation plus rapide donc une efficacité moindre dans l'effort perçu) **Cercles** : proportionnalité entre les cercles et le nombre de citations. **Rectangle remplissage jaune** : citations totales. **Rectangle remplissage rouge** : citations totales en non-utilisation. **Rectangle remplissage vert** : citations totales en utilisation

3.2 Questionnaire SUS

Les résultats obtenus à partir du SUS, cohérents avec les entretiens, nous montrent un score relativement faible indiquant que l'outil n'est pas idéal selon les thérapeutes. Les résultats du U de Mann-Whitney et de l'Anova de Kruskal-Wallis n'ont montré aucun effet significatif de l'effet genre (U= 20, *p*= 0.58), de la profession (K= 0.70, *p*= 0.71) ou de la durée d'utilisation du Lokomat® (K= 3.49, *p*= 0.17).

Les résultats présentés montrent que les répondants du SUS déclarent utiliser souvent l'outil, malgré son manque de convivialité. Le recours à un technicien semble avoir été important pour près de la moitié des répondants et il existe un fort besoin de formation avant utilisation. 60% des

thérapeutes semblent avoir une faible confiance, alors qu'un tiers semble confiant dans l'utilisation du Lokomat®.

Les tests de Chi² n'ont montré aucune différence entre les sexes. En revanche, les médecins trouvent que les gens sont moins capables d'apprendre à utiliser le système que les autres professions ($Chi^2(6)= 13.10$, $p=0.041$). Les enseignants APA ont évalué le système comme moins lourd à utiliser que les médecins, les kinésithérapeutes ont donné des réponses mitigées ($Chi^2(6)= 13.25$, $p=0.039$). Il y a une légère tendance pour l'évaluation de l'incohérence, les enseignants APA jugeant le système plus incohérent que les deux autres professions ($Chi^2(6)= 10.63$, $p=0.10$). Les utilisateurs qui utilisent l'appareil depuis plus longtemps trouvent le système plus inutilement complexe que les nouveaux utilisateurs ($Chi^2(4)= 10.19$, $p=0.037$).

4. CONCLUSION

Malgré l'utilisation croissante des nouvelles technologies, des exosquelettes de rééducation, et plus particulièrement du Lokomat, celui-ci ne semble pas trouver sa place à l'unanimité dans le milieu clinique. Bien que de nombreuses études aient prouvé l'efficacité du robot (Yeh et al., 2020 ; Pohl et al., 2007 ; Frisoli et al., 2012), il semble qu'il ne soit pas une option attractive pour les thérapeutes, même si selon eux, le Lokomat® est un dispositif complémentaire à la rééducation conventionnelle. Il existe de nombreux obstacles à l'utilisation d'un exosquelette robotisé, comme la maîtrise, l'effort perçu et les influences sociales qui jouent un rôle majeur dans l'intention d'utiliser un robot de rééducation. En conclusion, à travers cette première étude, nous avons déjà pu mettre en évidence quelques facteurs importants pour le bon usage de ces exosquelettes. Malgré le faible nombre de participants dû à la crise sanitaire 2020, il fournit une bonne base pour de futures études pouvant étudier plus précisément la conception ergonomique du Lokomat® (e.g. IHM, confort de l'exosquelette, phase d'installation), puis l'acceptation de l'outil sur un plus grand nombre de sujets et d'autres structures.

5. BIBLIOGRAPHIE

Baud, R., Manzoori, A. R., Ijspeert, A., & Bouri, M. (2021). Review of control strategies for lower-limb exoskeletons to assist gait. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *18*(1), 1-34.

Bobillier-Chaumon, M., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le travail humain*, *72*(4), 355-382.

Chaumon, M. E. B. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, *22*(1), 4-21.

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, *189*(194), 4-7.

Colombo, G., Joerg, M., Schreier, R., & Dietz, V. (2000). Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *Journal of rehabilitation research and development*, *37*(6), 693-700.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, 319-340.

Frisoli, A., Procopio, C., Chisari, C., Creatini, I., Bonfiglio, L., Bergamasco, M., ... & Carboncini, M. C. (2012). Positive effects of robotic exoskeleton training of upper limb reaching movements after stroke. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, *9*(1), 1-16.

Henry, P., & Moscovici, S. (1968). Problèmes de l'analyse de contenu. *Langages*, (11), 36-60.

Hocoma 2009. Lokomat® – thérapie de locomotion fonctionnelle avec rétroaction augmentée.

Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.

Pohl, M., Werner, C., Holzgraefe, M., Kroczek, G., Wingendorf, I., Hoölig, G. & Hesse, S. (2007). Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GAngtrainerStudie). *Clinical rehabilitation*, *21*(1), 17-27.

Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*, *39*(2), 273-315.

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., & Bredin, J. (2015). Effects of robotic gait rehabilitation on biomechanical parameters in the chronic hemiplegic patients. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, *45*(3), 215-219.

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., & Bredin, J. (2017). Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *European journal of paediatric neurology*, *21*(3), 557-564.

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., & Bredin, J. (2018). Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gait of children with cerebral palsy. *Gait & posture*, *60*, 55-60.

Yeh, S. W., Lin, L. F., Tam, K. W., Tsai, C. P., Hong, C. H., & Kuan, Y. C. (2020). Efficacy of robot-assisted gait training in multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, *41*, 102034.

4 Communications Longues (= CL)

CL : *Simuler pour prospecter l'activité future de supervision du trafic routier.*

Emma Cippelletti, Sonia Adelé, Corinne Dionisio

COSYS-GRETTIA, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR, F-77454 Marne-la-Vallée, France

emma.cippelletti@univ-eiffel.fr ; sonia.adele@univ-eiffel.fr ; corinne.dionisio@univ-eiffel.fr

& **Marc-Éric Bobillier Chaumon**

Conservatoire National des Arts et Métiers, CRTD, F-75005

Marc-eric.bobillier-chaumon@lecnam.net

RÉSUMÉ

Cette communication traite d'une étude réalisée auprès d'opérateurs en poste de contrôle du trafic routier qui pourraient voir leur activité évoluer avec les Systèmes de Transports Intelligents Coopératifs (C-ITS). Notre objectif est de montrer les conséquences des choix méthodologiques de simulation de l'activité sur la manière dont les opérateurs se projettent dans l'activité future. Nous avons réalisé deux ateliers de simulation avec des professionnels de la gestion du trafic en utilisant des scénarisations différentes. Les résultats montrent une différence qualitative et quantitative du contenu des discours obtenus lors des deux ateliers. En effet, le deuxième atelier, en matérialisant plus opérationnellement le cadre prescriptif technologique, a permis aux participants de mieux anticiper les conséquences de la mise en place des C-ITS sur leur activité et de discuter des fonctionnalités de ces systèmes.

MOTS-CLÉS

Activité future ; Supervision du trafic ; Systèmes de Transports Intelligents Coopératifs (C-ITS) ; Simulation ; Prospection

1. INTRODUCTION

De nombreuses méthodes existent pour prospecter le devenir de l'activité lorsque les technologies sont connues. Mais comme le précise Bobillier Chaumon (2021), ce diagnostic devient plus difficile lorsque les technologies sont émergentes, c'est-à-dire qu'elles sont au stade de développement. Par ailleurs, lorsque l'activité est digitalisée ou distante, l'activité future est plus difficilement saisissable (Bobillier Chaumon, 2021). C'est dans ce cadre que nous sommes intervenus auprès d'une collectivité publique qui exploite les routes départementales afin de comprendre comment les Systèmes de Transports Intelligents Coopératifs (C-ITS) pourraient s'intégrer à l'activité des professionnels. Les C-ITS englobent un ensemble de technologies qui permettent un échange de données entre véhicules ou entre infrastructure et véhicules. Les intérêts de tels systèmes sont notamment d'améliorer la sécurité des usagers et des professionnels de la route ou d'accroître la satisfaction des usagers de la route par une meilleure gestion du trafic. Financé pour moitié par l'Union européenne6, InDiD (Infrastructure Digitale de Demain) est un projet pilote de déploiement de C-ITS (2019-2023) coordonné par le ministère de la Transition Écologique. Il comprend plusieurs partenaires publics et privés, notamment des sites pilotes sur l'ensemble du territoire français qui mettent concrètement en œuvre les technologies développées. Les C-ITS peuvent avoir des impacts importants

[6] The contents of this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect the opinion of the European Union.

à différents niveaux (juridique, économique, écologique, organisationnel) et notamment sur l'activité des gestionnaires routiers. Des impacts sont notamment anticipés sur la gestion des évènements routiers qui implique des professionnels de métiers différents travaillant ensemble par le biais d'artefacts technologiques.

Dans cette communication, nous restituerons les résultats d'une démarche par simulation visant à comprendre comment les C-ITS pourraient s'intégrer à l'activité, éventuellement en la modifiant, impliquer les professionnels concernés à la démarche, lister des recommandations pour orienter les concepteurs sur les futurs systèmes. Néanmoins, ces éléments ne seront pas abordés ici pour laisser la place à des éléments de méthodologie permettant aux utilisateurs de cette méthode de mieux appréhender les conséquences des choix méthodologiques sur le contenu des résultats obtenus.

2. ÉTAT DES RECHERCHES SUR L'EXPLOITATION DE LA ROUTE ET LA SIMULATION DE L'ACTIVITÉ

2.1. L'activité des gestionnaires routiers

L'exploitation de la route vise le maintien de la viabilité, la gestion du trafic et l'aide au déplacement des usagers (SETRA, 1999). Deux métiers peuvent être cités dans cet objectif : les opérateurs en postes de contrôle (PC) qui ont pour objectif de récolter, traiter et diffuser l'information liée aux évènements routiers et les agents de terrain qui ont comme mission d'exploiter et d'entretenir le réseau routier. L'exploitation de la route demande à des professionnels de corps de métier différents comme les services de secours, les dépanneurs, les gestionnaires routiers d'intervenir pour gérer les évènements. Les Services de secours représentent la principale source d'information sur les évènements imprévus tels que des accidents de la route ou des objets sur la chaussée (SETRA, 1999). La majorité de l'activité des opérateurs PC est médiatisée par des artefacts technologiques qu'il s'agisse d'outils de communication (radio, téléphone), d'outils de surveillance (caméra, station de comptage…), d'outils d'information (panneau à messages variables, site internet…) ou d'outils de gestion (système d'aide à la gestion du trafic (SAGT), cartographie…). Les dispositifs technologiques revêtent donc une place importante dans l'activité des professionnels travaillant dans les postes de contrôle (Grosjean, 2005) dans l'anticipation et la compréhension de la situation (Heath & Luff, 1994), mais aussi dans les modes de coopération qui opèrent au sein d'une équipe (Joseph, 1994).

Les C-ITS visent la circulation généralisée de l'information notamment entre véhicules, mais aussi entre le véhicule et l'infrastructure routière. Ces nouveaux systèmes s'inscrivent dans une volonté d'amélioration de la sécurité routière et de l'efficacité de la gestion du trafic. Peu d'études ont été réalisées sur l'impact des C-ITS sur l'activité des gestionnaires routiers. Chahir et al. (2022) se sont intéressés à l'adéquation entre les C-ITS et l'activité de gestionnaire routier au sein de la Direction Interdépartementale des Routes Ouest (DIRO). Les auteurs ont montré que si les C-ITS se révèlent en partie compatibles avec le travail réalisé par les agents d'exploitation, de nombreux travaux sont encore à mener pour améliorer cette adéquation.

Dans des environnements de travail médiatisés par les technologies « l'activité dépend ainsi de moins en moins de l'intervention directe des individus sur l'objet du travail que de leurs actions sur [des] dispositifs numériques de travail, c'est-à-dire sur les artefacts technologiques qui médiatisent leur activité. Il y a donc un lien entre des technologies bien faites et un travail bien fait, entre un environnement technologique de qualité et un travail de qualité et entre le bienfait d'environnements techniques appropriés et le bien-être de leurs usagers » (Bobillier Chaumon & Clot, 2016, p.1). Le déploiement des technologies dans le monde professionnel n'est pas neutre. En effet, elles peuvent reconfigurer les « façons de penser, de faire, d'organiser, de collaborer et, plus généralement, de vivre au/son travail » (Bobillier Chaumon, 2016, p.5). Les C-ITS en modifiant les flux d'informations dans la gestion des évènements routiers pourraient impacter l'ensemble des activités individuelles ou collectives.

Dans l'objectif d'explorer l'activité future des professionnels de la route en lien avec les C-ITS, qui sont toujours à l'état de projet, la démarche de simulation de l'activité nous semble intéressante, notamment parce qu'elle permet d'impliquer précocement les futurs utilisateurs de cette technologie.

2.2. La simulation de l'activité

La simulation est « une méthodologie d'aide à la conception des situations de travail. Elle vise à faciliter la projection des travailleurs dans leur travail futur en les invitant à "jouer " leur propre activité sur un support ou au sein d'un dispositif ad hoc en capacité de rendre compte des caractéristiques du cadre prescriptif en cours de conception. La simulation ergonomique est donc avant tout une simulation de l'activité, révélée au moyen d'une activité de simulation » (Van Belleghem, 2021a p.466). La simulation vient s'ajouter à l'analyse de l'activité et à la conception centrée utilisateur comme « troisième pilier » des dispositifs d'accompagnement des changements qui peuvent avoir des objectifs différents (Bobillier Chaumon et al., 2018). Dans l'optique de concevoir, la simulation permet de placer au centre de l'intervention, l'activité des personnes. Son intérêt est de dépasser la simple évaluation des situations futures pour entrer dans une démarche de co-construction de l'activité future (Bobillier Chaumon, 2021).

À travers l'analyse de l'activité, la simulation permet de créer des scénarios basés à la fois sur les invariants du travail et sur les innovations futures souhaitables (Maline, 1997). Van Belleghem (2021b) précise que l'activité de travail se situe « à l'interface » d'un système de prescriptions, de logiques d'action et d'évènements auxquels le travailleur doit faire face. Ces trois pôles doivent figurer dans les scénarios utilisés pour la simulation. Le système prescriptif scénarisé décrit à la fois les options numériques, mais aussi les choix technico-organisationnels possibles induits par ces derniers. Les évènements proposés doivent représenter les aléas auxquels les travailleurs peuvent être soumis avec toute leur variabilité. Enfin, les logiques d'action portées par les scénarios sont basées majoritairement sur les stratégies individuelles et collectives actuellement à l'œuvre, mais celles-ci vont se développer en cours de simulation. En effet, la démarche de simulation doit inclure un modèle de l'activité réelle des participants (enjeu théorique), avoir des modalités pratiques précises (enjeu méthodologique), mais elle doit aussi permettre dans le même temps la conception de situations de travail et le développement de l'activité des professionnels impliqués (enjeu opérationnel) (Van Belleghem, 2018). Pour Van Belleghem (2018), le support de simulation doit « permettre la *représentation* et l'évolution des éléments de prescription sous forme de scénarios, la *modification* collective des scénarios de prescription et la *simulation* de l'activité » (p.9).

L'objectif de cette communication est de présenter l'impact de la scénarisation conçue pour deux ateliers de simulation, sur la façon dont les professionnels de la route se projettent dans l'activité future incluant des C-ITS. Nous montrerons comment les participants se projettent dans la situation future selon que le support intègre précisément ou non le système de prescription technologique (Van Belleghem, 2021b). En améliorant le contenu des scénarios proposés d'un atelier à un autre, nous avons permis aux participants de s'extraire d'une description procédurale de l'activité pour se projeter dans une activité future probable (Daniellou, 1988).

3. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

3.1. Terrain de recherche et population d'étude

Nous sommes intervenus en deux phases auprès d'un gestionnaire routier public qui gère les évènements se produisant sur les routes départementales. L'objectif de cette intervention était de comprendre comment les C-ITS pourraient impacter l'activité des opérateurs travaillant au PC routier (effectif total de moins de 10 personnes).

Phase 1. Nous avons réalisé des observations de l'activité, non outillées (de types « papier-crayon ») ainsi que des observations instrumentées (photographies et enregistrements vocaux des

situations de travail à l'aide d'un dictaphone) permettant le recueil des traces de l'activité. De plus, nous avons mené trois entretiens semi-directifs avec des responsables. Nous nous sommes rendus au total sept jours au PC routier sur la période de juin 2021 à avril 2022. Les données ont été retranscrites, pseudonymisées et analysées avec le logiciel Nvivo, notamment en vue d'identifier des situations pertinentes à scénariser lors de la phase 2. Les analyses de l'activité réalisées ont fait ressortir : 1/l'importance des activités collectives dans la gestion des évènements routiers avec la mobilisation et la coordination de différents corps de métiers au sein et en dehors de l'organisation. Par ailleurs, 2/les relations sont essentiellement médiatisées par des artefacts technologiques tels que le téléphone ou le SAGT. Nos analyses ont également montré 3/le rôle primordial de la fiabilité de l'information dans l'activité.

Phase 2. Nous avons ensuite réalisé deux ateliers de simulation que nous détaillons ci-dessous.

3.2. Matériels et méthodes de recueil de données

Afin de créer les scénarios pour les ateliers de simulation, nous avons choisi deux situations qui permettaient d'inclure les constats faits suite à la phase 1 tout en mobilisant l'ensemble des fonctionnalités des C-ITS : une situation d'accident occasionnant une coupure d'une route à grande circulation (intervention d'acteurs d'organisations différentes) et une situation d'obstacle sur les voies à la limite de deux départements (coordinations entre plusieurs PC) (tableau 1).

Tableau 1 : Détails des deux situations élaborées pour les ateliers de simulation

Situation n°	1	2
Type de signalement	**Automatique (par le véhicule accidenté)**	**Manuel (par des usagers de la route)**
Type d'évènement	Accident	Obstacles sur la route (plusieurs cailloux tombés d'un chargement de camion)
Métiers concernés	Opérateurs PC ; Agents du territoire ; Responsables ; Pompiers/Gendarmes	Opérateurs PC ; Agents du territoire
Conditions de circulation	Très dense : vacances – 9h52/route enneigée	Animée : lundi à 8h00/route mouillée, brouillard
Implications	Deux blessés/Risque de suraccident	Risque d'accident
Éléments aggravants	Route coupée Déviation de la circulation difficile	Évènement en limite de deux départements

Les méthodes utilisées nécessitant le recueil et le traitement de données personnelles, nous avons strictement respecté les règles fixées par le règlement général sur la protection des données (RGPD) en matière d'information et de recueil du consentement des participants.

Nous avons réalisé au total deux ateliers d'un peu moins de deux heures (1h52 et 1h44) dans une salle de réunion. Nous avons filmé les ateliers et enregistré le discours. Après retranscription, nous avons réalisé une analyse thématique avec le logiciel Nvivo. La méthodologie ayant évolué entre le premier et le deuxième atelier, nous présenterons le matériel utilisé ainsi que les résultats spécifiques à chacun ci-dessous.

3.2.1. Premier atelier

Lors de cet atelier, la consigne générale était : « Essayez tous ensemble de schématiser sur une frise chronologique l'enchaînement des évènements de la réception de l'information à la résolution de l'évènement. J'aimerais que sur le schéma, apparaissent à la fois les éléments relatifs à votre travail en tant qu'opérateur PC, mais aussi les actions des autres acteurs de la situation (agents de terrain, pompiers…) ». Nous leurs avions mis à disposition un support papier, des stylos, des feutres, des vignettes représentant des éléments tels que les voitures, des personnages, des entités… Nous les

laissions libres de formaliser la situation comme ils le souhaitaient sur la frise (cf. figure 1). Ce premier atelier s'est déroulé en 2022 avec un chef de salle et deux opérateurs PC.

Pour chacune des situations présentées, nous expliquions avec un support visuel les fonctionnalités des C-ITS, puis nous posions des questions sur l'enchaînement des actions réalisées, mais aussi sur leur perception de l'impact des flux d'information sur la gestion de l'évènement. Nous faisions de même pour chaque type de flux d'information (véhicule à véhicule, véhicule à infrastructure, infrastructure à véhicule).

Ce premier atelier a permis de faire remonter des éléments relatifs aux avantages, aux fonctionnalités et aux freins des C-ITS. Cependant, plusieurs limites peuvent être évoquées :

Un atelier davantage sur le registre de l'entretien collectif

Cet atelier s'est révélé être davantage du registre de l'entretien collectif que de la simulation de l'activité. En effet, nous n'avons pas demandé aux participants de « jouer » les situations (par exemple en les dotant d'outils de travail à utiliser). Ainsi les résultats obtenus prennent plutôt la forme de discussions intéressantes, mais pas d'une réelle simulation avec projection sur l'activité future. La projection n'a pas été facilitée non plus par la manière dont le scénario avait été orchestré (un type de circulation d'information puis des questions). Ces interruptions empêchent un déroulement fluide de l'activité.

Un support peu investi

La frise a été peu utilisée, mais surtout peu investie par les participants. À plusieurs reprises, c'est la chercheuse qui propose de compléter la frise. Les éléments qui y ont été apposés correspondent surtout aux règles et procédures en vigueur actuellement. Le mot « procédure » a été utilisé 18 fois par les participants. Les participants ont aussi été gênés par le fait de devoir imaginer l'activité des autres acteurs (ce qui se passe sur le terrain, les actions des agents de terrain et des secours…). Un des participants explique que leur action se situe au PC (bas de la frise) et non au niveau du terrain (haut de la frise) : « Nous on reste là, nous on est là au PC ».

Des difficultés à se projeter :

Un des participants exprime des difficultés à se projeter dans la situation future à partir de nos questions hypothétiques : « *[Chercheuse],* excuse-moi, mais il y a beaucoup de choses, tu dis imaginons, si, ça ; on répond facilement, mais c'est délicat parce que tu nous mets dans un scénario avec beaucoup de si ».

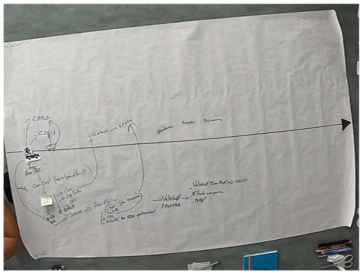


Figure 1 : Frise réalisée lors du premier atelier

En conclusion, ce premier atelier n'a pas répondu à nos exigences en matière de simulation de l'activité. Même s'ils proposaient des évènements pertinents, les scénarios n'offraient pas assez d'éléments concrets aux participants (par exemple, informations envoyées et reçues avec les outils anciens et nouveaux). Ils étaient défaillants sur le plan de ce que Van Belleghem (2021b) nomme système de prescription. Faire le choix de présenter les flux d'information sous la forme de fonctionnalités technologiques n'a pas offert un support suffisant aux opérateurs PC pour se projeter dans leur activité future. Compte tenu des résultats insatisfaisants, nous avons choisi de réaliser un deuxième atelier en améliorant la méthodologie. Pour cela, nous avons exposé nos difficultés à un expert de cette méthode qui nous a aidés à franchir une étape supplémentaire en matière de scénarisation. Cette évolution méthodologique nous a permis de quitter le procédural et d'approcher davantage l'activité future des participants. Le travail réalisé dans ce but nous a obligés à fixer des choix de conception, ce que nous souhaitions initialement éviter.

3.2.2. Deuxième atelier

Pour ce deuxième atelier, nous avons conservé un seul scénario lié à la situation d'accident (cf. tableau 1) en l'approfondissant de façon conséquente. Nous avons créé un support qui a permis de présenter le fonctionnement des C-ITS et les nouveaux flux d'information aux participants en début d'atelier puis nous avons déroulé le scénario lié à l'accident sans interruption. Contrairement au premier atelier, l'enchaînement des évènements était davantage contraint et précis. Nous nous sommes assurés au préalable du réalisme du déroulement du scénario auprès d'experts du projet impliqués dans la conception des spécifications technologiques.

Sur la base des observations préalables et avec l'aide de professionnels de la supervision du trafic non impliqués dans l'atelier, nous avons reproduit le plus fidèlement possible le SAGT actuellement utilisé en y ajoutant les nouveaux flux d'information (cf. figure 2). Nous avons également pris soin d'intégrer les éléments constitutifs de la situation (outils utilisés, localisation des centres d'entretien routiers). Nous avons mis à disposition des participants du matériel réel (clavier, souris, téléphone, bloc-notes et stylos). Ce deuxième atelier a eu lieu en 2022 avec un chef de salle et un opérateur PC.

La consigne de cet atelier était de « *jouer une situation qui inclut les C-ITS comme si vous étiez au PC. L'objectif est d'essayer de se projeter dans cette situation future pour résoudre un évènement routier : de la réception de l'information, au traitement de l'évènement jusqu'à la résolution de celui-ci* ». Chaque personne autour de la table devait jouer un rôle : l'opérateur jouait son propre rôle, le responsable jouait son propre rôle ainsi que le rôle de l'agent de terrain et la chercheuse jouait les partenaires extérieurs (pompiers et gendarmes). Tous les appels reçus ou passés ont été effectivement joués.

Le script reposait sur des alertes liées à la situation d'accident simulée remontées soit manuellement par les usagers, soit automatiquement par le véhicule avec un rendu réaliste (cf. figure 2).

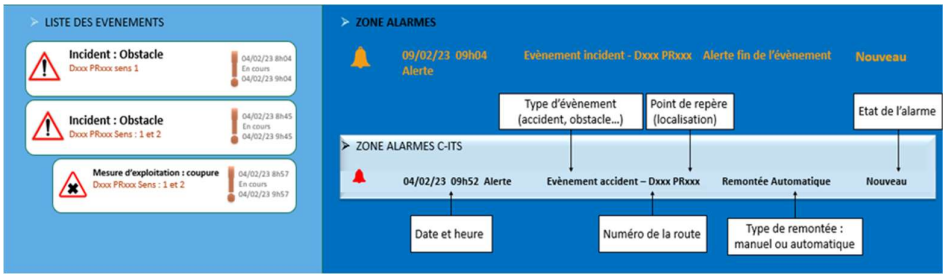


Figure 2 : Visuel du logiciel incluant les alertes C-ITS proposé lors du deuxième atelier

Les résultats obtenus mettent en évidence le progrès méthodologique.

Une projection facilitée par la simulation des appels

Dans ce deuxième atelier, les participants ont pu davantage se projeter dans une activité future réaliste en la commentant. Nous avons pu matérialiser des évolutions dans la manière de réaliser son travail en lien avec les C-ITS. Par exemple, nous avons pu constater comment les informations remontées automatiquement ou manuellement sont traduites et transmises aux différents interlocuteurs : « *Dis-moi on a un accident sur [localisation de l'évènement] donc c'est une remontée automatique d'un véhicule, donc on ne sait pas exactement ce qu'on a » ;* ou encore lorsqu'il reçoit un appel des gendarmes *: « c'est quelqu'un qui a signalé un accident manuellement, donc on n'a pas plus d'infos. Moi, mon équipe ils sont bloqués sur l'autre accident donc ils iront dès que possible ».* Par ailleurs, contrairement au premier atelier, nous avions restitué nous-mêmes, de façon dynamique, les éléments de la situation qui sont normalement apportés par les collègues de terrain ou les partenaires extérieurs. Cette stratégie a permis d'améliorer le réalisme du scénario en centrant les opérateurs exclusivement sur leur part de la mission de gestion des évènements.

Malgré sa forte proximité avec les situations quotidiennes des opérateurs, cet atelier présente néanmoins une limite en matière de réalisme quant à la charge de travail. En effet, les opérateurs traitent généralement plusieurs évènements en parallèle. Un des participants évoque cela (« *ça va dépendre du flot d'appels qu'on a, voilà parce que là on est tout beau, mais normalement entre 9h52 et 10h18 dans une configuration comme ça, on aurait pris quelques appels »)*.

3.3. Éléments quantitatifs de comparaison des deux ateliers

Malgré un nombre de participants inférieur (3 pour l'atelier 1 vs 2 pour l'atelier 2), la quantité d'idées obtenues sur les C-ITS est plus grande dans le second atelier (40 occurrences contre 73 dans l'atelier 2). Ce même résultat est observable pour les trois grandes thématiques évoquées (avantages, fonctionnalités, points d'attention) (cf. figure 3). Autrement dit, la seconde méthodologie permet d'obtenir une plus grande richesse d'idées pour la conception.

En ce qui concerne les avantages perçus liés aux C-ITS, plusieurs idées sont évoquées concernant l'utilité des systèmes pour leur travail. Les participants ont par ailleurs, évoqué plus d'avantages lors du deuxième atelier (2 pour l'atelier 1, soit 6 verbatims et 4 pour l'atelier 2, soit 11 verbatims).

En ce qui concerne les fonctionnalités attendues des C-ITS, les thématiques varient entre les deux ateliers. Lors du premier atelier, ils ont davantage évoqué l'interopérabilité qui devrait exister entre les logiciels des différents intervenants dans la gestion des évènements routiers (9 verbatims ; 1 pour le deuxième atelier). Les participants du deuxième atelier ont quant à eux, davantage parlé de la fiabilité des alertes (24 verbatims ; 9 pour le premier atelier) et de la manière d'intégrer les alertes au SAGT (8 verbatims, 1 pour le premier atelier). Ils ont également proposé une fonctionnalité qui permet à l'usager d'annuler l'envoi d'une alerte (2 verbatims). Les idées de l'atelier 2 sont donc plus directement liées à l'activité réelle.

On retrouve ce même résultat pour ce qui concerne les points d'attention. Les participants du premier atelier ont davantage questionné l'intérêt et la plus-value des C-ITS (11 verbatims), se positionnant donc dans une posture générale (pour l'usager, pour les pouvoirs publics…), tandis que lors du deuxième atelier, ils ont questionné largement l'impact des C-ITS au niveau de leur activité (risque de surcharge informationnelle, informations insuffisantes…) (24 verbatims ; 3 pour le premier atelier).

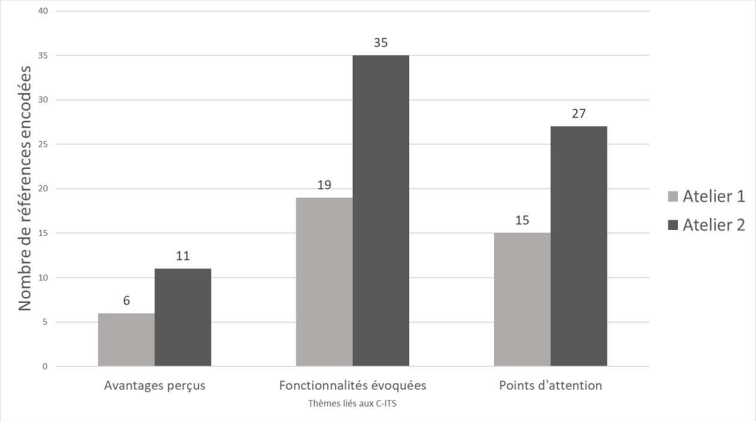


Figure 3 : Nombre de références encodées sur les thèmes liés aux C-ITS en fonction de l'atelier.

4. DISCUSSION

L'objectif de cette communication était de montrer l'impact de la scénarisation de la simulation sur la façon dont les opérateurs se projettent dans l'activité future en lien avec les C-ITS. Dans ce but, nous avons comparé les résultats obtenus au cours de deux ateliers de simulation incluant à la fois des opérateurs et des chefs de salle. Dans le premier atelier, nous avons souhaité laisser aux participants une grande liberté pour imaginer leur activité future (choix de conception, cadre procédural…). En effet, nous n'avons pas souhaité décider à la place des acteurs ou des concepteurs de la forme

opérationnelle du dispositif technique, en présentant uniquement le principe de fonctionnement technique des différentes fonctionnalités du système appliqué à un évènement routier précis et contextualisé. Il s'est avéré que ce parti pris venait au détriment de l'efficacité de la simulation à anticiper la situation future, données quantitatives et qualitatives à l'appui.

En améliorant notre compréhension des préconisations existantes formulées notamment par Van Belleghem (2021b), nous avons enrichi les scénarios avec plus d'informations sur le cadre de prescription de l'activité future. Nous avons particulièrement orienté nos scénarios vers plus de détails sur les modalités opérationnelles de traduction des messages C-ITS au sein des outils existants. Cet apport d'information technique a permis aux participants de trouver une base solide pour construire une réflexion sur l'activité future notamment à propos des évolutions organisationnelles et des logiques d'actions.

Si ce choix semble avoir porté ses fruits au regard des résultats obtenus, il n'est pas exempt de défauts. En effet, en proposant une matérialisation du dispositif technique, et malgré toutes les précautions de validations auprès des experts du projet, il est possible que nous n'ayons pas retranscrit la réalité de ce que sera le fonctionnement technique des C-ITS lors de leur implémentation. En effet, il s'agit d'un projet en cours pour lequel le côté « gestionnaire » en est encore à ses débuts. Par exemple, nous ne savons pas comment les informations seront agrégées ou non avant d'être transmises aux opérateurs. Par ailleurs, l'activité d'exploitation de la route est intrinsèquement collective dans le sens où plusieurs métiers interviennent pour la résolution des évènements. Le fait de réaliser des ateliers uniquement avec les opérateurs permet d'avoir une vision partielle de ce que les C-ITS pourraient générer sur l'activité collective.

Pour pallier en partie ces limites, il serait intéressant de conduire des études complémentaires réitérant ces ateliers à différents moments du développement de ces systèmes avec un panel plus large de métiers internes à l'organisation, mais aussi des partenaires externes tels que les pompiers et gendarmes, voire avec des usagers de la route.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bobillier Chaumon, M. E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du Travail et des Organisations*, *22*(1), 4-21. https://doi.org/10.1016/j.pto.2016.01.001

Bobillier Chaumon, M. E., Rouat, S., Laneyrie, E., & Cuvillier, B. (2018). De l'activité DE simulation à l'activité EN simulation : simuler pour stimuler. *Activités*, *15*(15-1). https://doi.org/10.4000/activites.3136

Bobillier Chaumon, M. E., & Clot, Y. (2016). Clinique de l'usage : Les artefacts technologiques comme développement de l'activité. Synthèse Introductive au dossier. *Activités*, *13*(2). https://doi.org/10.4000/activites.2897

Bobillier Chaumon, M.E. (2021). Technologies émergentes et transformations digitales de l'activité : enjeux pour l'activité et la santé au travail. *Psychologie du Travail et des Organisations, 27*(1), 17-32. https://doi.org/10.1016/j.pto.2021.01.002

Chahir, M., Bordel, S., & Somat, A. (2022). Accompagner le déploiement d'une nouvelle technologie par la prise en compte des risques et des opportunités. *Relations industrielles*, *77*(3). https://doi.org/10.7202/1094208ar

Daniellou, F. (1988). Ergonomie et démarche de conception dans les industries de processus continus. Quelques étapes clés. *Le Travail Humain, 51*(2), 185-194. http://www.jstor.org/stable/40657490

Grosjean, M. (2005). L'awareness à l'épreuve des activités dans les centres de coordination. *Activités, 2*(1). https://doi.org/10.4000/activites.1600

Heath, C., & Luff, P. (1994). Activité distribuée et organisation de l'interaction. *Sociologie Du Travail, 36*(4), 523-545. http://www.jstor.org/stable/43149966

Joseph, I. (1994). Attention distribuée et attention focalisée : les protocoles de la coopération au PCC de la ligne A du RER. *Sociologie Du Travail, 36*(4), 563-585. http://www.jstor.org/stable/43149968

Maline, J. (1997). Simuler pour approcher la réalité des conditions de réalisation du travail : la gestion d'un paradoxe. In P. Béguin & A. Weill-Fassina (eds), *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir* (p. 97-111). Octarès.

SETRA (1999). *Organisation des patrouilles : exploitation de la route*. Guide technique, ministère de l'Équipement des Transports et du Logement.

Van Belleghem, L. (2018). La simulation de l'activité en conception ergonomique : acquis et perspectives. *Activités*, *15*(1). https://doi.org/10.4000/activites.3129

Van Belleghem, L. (2021a). Simulation technique et organisationnelle. In E. Brangier & G. Valléry (eds.), *Ergonomie : 150 notions clés. Dictionnaire encyclopédique* (p. 466-469). Dunod.

Van Belleghem, L. (2021b). Simuler l'activité digitale en devenir : éléments de méthodologie. In M.-E. Bobillier Chaumon (ed.), *Les transformations digitales à l'épreuve de l'activité et du travail. Comprendre et accompagner les mutations technologiques émergentes* (p. 233-246). ISTE Editions.

CL : *Validation des tâches expérimentales d'un environnement multitâche simulé pour le chef de groupe débarqué.*

Alexis REMIGEREAU[(1)(a)]**, Françoise DARSES**[(1)(b)]**, Baptiste DOZIAS**[(1)(c)] **et Julie ALBENTOSA**[(1)(d)]

(1) Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), Brétigny-sur-Orge, France

(a) alexis.remigereau@def.gouv.fr

(b) françoise.darses@def.gouv.fr

(c) baptiste.dozias@def.gouv.fr

(d) julie.albentosa@def.gouv.fr

RÉSUMÉ

Une analyse de l'activité basée sur un recueil de données verbales et comportementales a permis de guider la conception d'un environnement multitâche simulé reproduisant les caractéristiques de quatre tâches effectuées par les chefs de groupe d'infanterie en opération. L'objectif de l'étude est d'évaluer les qualités psychométriques du simulateur. Nos résultats montrent que la sensibilité des mesures objectives et subjectives de charge cognitive des chefs de groupe était suffisante. En effet, la charge cognitive variait en fonction du niveau d'exigence des tâches. Les résultats ont également montré que le simulateur avait un niveau de validité de contenu satisfaisant. Toutefois, des investigations plus approfondies sont nécessaires pour évaluer la validité convergente du simulateur. Ce dernier pourra être utilisé comme support pour de futures expérimentations nécessitant de générer des situations de tâches concurrentes.

MOTS-CLÉS

Simulation ; charge cognitive ; militaire ; validité de contenu ; validité convergente ; sensibilité des mesures

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Le chef de groupe d'infanterie est particulièrement vulnérable à la surcharge cognitive. Il doit superviser deux équipes de trois personnes, garder une liaison permanente avec son supérieur et être vigilant aux changements dans son environnement. Il est régulièrement impliqué dans des situations multitâches. Il est donc nécessaire d'évaluer sa charge cognitive en situation multitâche afin d'établir des recommandations pour la conception de futurs équipements qui sont toujours plus sophistiqués. C'est pourquoi nous avons engagé une démarche de conception d'un environnement simulé générant des situations de tâches concurrentes, reproduisant les caractéristiques des tâches réelles du chef de groupe d'infanterie en opération. La validation de ce simulateur est nécessaire, afin de pouvoir généraliser les résultats expérimentaux aux situations réelles.

1.2. Les situations multitâches chez le chef de groupe

On distingue généralement trois types de situations multitâches : (i) le multitâche concurrent où deux tâches ou plus sont effectuées simultanément ; (ii) le multitâche séquentiel ou *task switching*, lorsqu'il y a des basculements discrets entre plusieurs tâches et (iii) l'interruption de tâche lorsqu'une tâche en

cours d'exécution est mise en suspens au profit d'une tâche interférente et prioritaire. La *Threaded Cognition Theory* (Salvucci & Taatgen, 2011) unifie ces différentes formes en proposant l'idée d'une transformation progressive de la situation à mesure que l'intervalle de temps séparant deux basculements entre les tâches s'allonge, à partir du multitâche concurrent (intervalles de quelques millisecondes) jusqu'au multitâche séquentiel (intervalles de quelques secondes, voire minutes). Soulignons que les situations multitâches expérimentées par les chefs de groupe sont situées tout au long de ce continuum (Chérif et al., 2018). Toutefois, l'utilisation des équipements technologiques militaires impose fréquemment des situations multitâches concurrentes, le chef de groupe devant traiter simultanément des informations mobilisant des canaux perceptifs différents (visuo-spatiale, auditivo-verbale, etc.).

1.3. Concevoir un environnement multitâche simulé pour le chef de groupe : un besoin pour la recherche

De nombreuses études s'intéressent à l'effet du format de présentation des informations chez le fantassin en situation de multitâche concurrent, dans l'objectif de concevoir de nouvelles interfaces humain-machine (Ophir-Arbelle et al., 2013). Ces études s'appuient sur des simulateurs qui réduisent considérablement la représentativité des situations multitâches du chef de groupe d'infanterie car certaines tâches opérationnelles majeures sont exclues de ces dispositifs expérimentaux (par ex., l'orientation spatiale, l'observation ou la prise de décision tactique). Cela entrave l'extrapolation des résultats observés aux situations réelles. C'est pourquoi nous avons conçu un simulateur dédié aux chefs de groupe débarqués qui permettra cette extrapolation. Certes, il existe un dispositif expérimental connu simulant le multitâche concurrent qui est le Multi-Attribute Task Battery –II. Cet environnement de simulation, dédié à l'activité de pilotage d'aéronefs (MATB-II ; Santiago-Espada et al., 2011) évalue certaines des propriétés intrinsèques d'une situation multitâche (comme par ex., la division des ressources attentionnelles, la priorisation des tâches, etc.). Cependant, il ne permet pas de tester des mécanismes cognitifs spécifiquement mobilisés par le fantassin débarqué, tels que l'orientation spatiale et la mémorisation de séquences d'informations.

1.4. Démarche de conception de l'environnement multitâche simulé : vers une étude sur la validité

Dans la démarche de conception du simulateur dédié aux chefs de groupe débarqués, plusieurs étapes ont été suivies : (i) analyse de l'activité réelle des fantassins (entretiens, observations instrumentées) ; (ii) établissement de modèles de tâches à partir de situations générant une charge cognitive élevée ; (iii) construction d'un modèle générique aboutissant à la sélection de quatre tâches fondamentales du chef de groupe ; (iv) conception et implémentation de ces quatre tâches dans un environnement multitâche simulé et (v) validation du simulateur. C'est cette dernière étape que nous présentons ici. Une évaluation indépendante de chaque tâche est indispensable pour estimer la pertinence des paramètres choisis de variation du niveau d'exigence et leur validité propre. L'évaluation de la ***sensibilité*** des mesures de charge cognitive, c'est-à-dire leur capacité à détecter des changements de l'exigence des tâches (Matthews et al., 2015), permet de vérifier si les paramètres manipulés sont pertinents pour induire différents niveaux de charge cognitive. Ehret et al. (1998) proposent quant à eux que la validité des environnements de simulation se définit par leur capacité à reproduire les caractéristiques principales de tâches réelles, telles que les processus cognitifs mobilisés. La ***validité convergente*** et de ***contenu*** peuvent rendre compte de la capacité d'un simulateur à reproduire ces caractéristiques (Harris et al., 2020). La validité convergente est avérée s'il y a une corrélation entre une variable du simulateur et une variable d'un critère censé rendre compte du même phénomène, tandis que la validité de contenu est la représentativité des tâches perçue par des experts (Harris et al., 2020). L'objectif de l'étude est donc d'évaluer le simulateur sur deux plans : (i) la sensibilité des mesures de charge cognitive induite par les tâches et (ii) la validité convergente et de contenu.

2. EXPERIMENTATION : VALIDATION DES TACHES DE L'ENVIRONNEMENT MULTITACHE SIMULÉ

2.1. Méthodologie

2.1.1. Participants

Dix-sept chefs de groupe d'infanterie (14 hommes, 3 femmes) ont participé à l'étude. L'âge moyen était de 28,6 ans (ET = 4,94) ; l'ancienneté militaire moyenne de 5,96 ans (ET = 4,04) et l'ancienneté en tant que chef de groupe de 2,21 ans (ET = 1,45). Tous ont signé un formulaire de consentement libre et éclairé et l'étude a été approuvée par le comité d'éthique Polethis (CER-Paris-Saclay-2022-013).

2.1.2. Présentation des quatre tâches implémentées dans l'environnement multitâche simulé

Tâche de détection des changements (T1) — Dans cette tâche inspirée de la *change detection task* (Matthews et al., 2015), des symboles militaires sont répartis sur une carte topographique. Trois types de changement peuvent survenir aléatoirement : apparition, disparition ou déplacement de symboles. Le participant doit répondre à chaque changement détecté. L'indicateur de performance est le taux de réponses correctes.

Tâche d'orientation spatiale (T2) — Inspirée du *perspective-taking and spatial orientation test* (Hegarty, 2004). Le participant doit indiquer la direction cardinale d'un symbole cartographique par rapport à un autre en fonction du nord indiqué par une flèche. Il doit répondre en manipulant le cadran d'une boussole virtuelle. L'indicateur de performance est l'erreur angulaire moyenne (EAM) correspondant à la moyenne des écarts formés à chaque essai entre la bonne direction et la direction indiquée par le participant (pour une erreur maximale possible de 180°).

Tâche 2-back auditive (T3) — Dans cette tâche inspirée de la *Military specific auditory N-back Task* (Vine et al., 2022), plusieurs séries de paires de lettres phonétiques de l'OTAN (alpha-bravo, delta-golf, etc.) sont présentées au participant qui, dès l'émission d'un signal sonore, doit rappeler oralement l'avant-dernière paire de lettres entendue. L'indicateur de performance est le taux de réponses correctes (proportion de paires de lettres phonétiques correctement rappelées).

Tâche de prise de décision tactique (T4) — Cette tâche utilise un labyrinthe dans lequel des unités ennemies, des cibles et un groupe d'infanterie sont représentés. Le participant doit commander le groupe pour neutraliser les ennemis (un ou deux par essai) avant qu'ils n'atteignent les cibles. L'indicateur de performance est le taux de réussite (moyenne des taux d'ennemis neutralisés et de cibles protégées avec succès).

Chaque tâche est présentée individuellement aux participants selon différents niveaux d'exigence dont le paramétrage a été ajusté par des pré-tests avec trois participants. Un intervalle pertinent de difficulté a ainsi été identifié, réduisant le risque d'effet plafond (tâches trop faciles) et d'effet plancher (tâches trop difficiles). Les caractéristiques des trois niveaux d'exigence sont décrites dans le tableau 1 pour chaque tâche.

Tâche	Exigence faible	Exigence modérée	Exigence forte
T1	20 stimuli à détecter	40 stimuli à détecter	80 stimuli à détecter
T2	11 sec. pour répondre	9 sec. pour répondre	7 sec. pour répondre
T3	1-back	2-back	3-back
T4	1 cible à protéger et 2 ennemis dans 25% des essais	2 cibles à protéger et 2 ennemis dans 50% des essais	3 cibles à protéger et 2 ennemis dans 75% des essais

***Tableau 2 :** Paramètres d'exigence manipulés pour chaque tâche.*

2.1.3. Matériel

Detection response task (DRT ; (Stojmenova & Sodnik, 2018).— La DRT est une tâche secondaire souvent utilisée pour évaluer la charge cognitive. Elle est effectuée en parallèle de la tâche dont on

cherche à évaluer le coût et consiste à répondre le plus rapidement possible dès qu'un signal (tactile) survient, en appuyant sur un bouton fixé à l'index. L'indicateur relevé est le temps de réaction.

Questionnaire NASA-Raw Task Load Index (NASA-RTLX ; Georgsson, 2019). — Il mesure la charge de travail perçue dont la charge cognitive et inclut six items (exigence mentale, exigence physique, pression temporelle, effort, frustration et performance perçue) que les répondants cotent de 0 à 100. Un score global moyen est ensuite calculé.

Questionnaire de validité de contenu. — Composé de 14 items, il évalue la perception d'experts sur la capacité du simulateur à reproduire les caractéristiques principales des tâches des chefs de groupe en activité réelle, selon quatre dimensions : représentation mentale de la situation (items Q1 et Q2), ressources attentionnelles mobilisées par les tâches (items Q3 à Q6), processus cognitifs mobilisés (items Q7 à Q11), utilité et portée pratique (items Q12 à Q14). Pour chaque item, le taux de réponses favorables (> à 50/100) indique le taux d'accord moyen des participants avec la proposition.

2.1.4. Procédure

Après les étapes de consentement du participant, de complétion du questionnaire biographiques et des instructions relatives à chaque tâche et à la DRT, les participants sont entraînés à chaque tâche. Puis chaque tâche était réalisée durant cinq minutes, dans un ordre aléatoire, simultanément à la DRT. Le NASA-RTLX était complété après chaque condition. Le questionnaire de validité de contenu était rempli à l'issue de l'ensemble des conditions. La durée totale de l'étude était d'environ 1h30.

2.1.5. Hypothèses opérationnelles

Sensibilité des mesures de charge cognitive — Pour évaluer la capacité des mesures à détecter les variations de charge cognitive chez les participants, le niveau d'exigence des tâches du simulateur a été manipulé. Les hypothèses sont les suivantes : H1.a) Lorsque l'exigence des tâches augmente, les performances aux tâches devraient se dégrader ; H1.b) le temps de réaction (TR) moyen à la DRT devrait augmenter et H1.c) les scores globaux obtenus au NASA-RTLX devraient augmenter.

Validité convergente et validité de contenu — La validité convergente a été évaluée en mesurant la corrélation entre les performances au simulateur et les notes à deux certificats militaires (CM1 et CT1) obtenues par les chefs de groupe. Les hypothèses sont les suivantes : H2.a) Il devrait y avoir une corrélation entre les performances obtenues avec l'environnement multitâche simulé et les notes CM1 et CT1 (validité convergente) ; H2.b) Les scores observés au questionnaire *ad hoc* (validité de contenu) devraient être supérieurs à 25 sur 50 pour au moins 50% des participants pour chaque item.

2.1.6. Analyses statistiques

Le plan d'expérience était factoriel (2 x 2) et à mesures répétées. Les variables indépendantes (VI) étaient le type de tâche (T1 ; T2 ; T3 ; T4) et le niveau d'exigence des tâches (faible ; moyenne ; élevée). Les variables dépendantes (VD) étaient : la performance aux tâches (taux de réussite), le taux de stimuli détectés à la DRT et le TR moyen à la détection. Pour le NASA-RTLX, la VD était le score global. Pour le questionnaire de validité de contenu, la VD était le score indiqué à chaque item. Pour la validité convergente, les VD sont les notes obtenues aux examens par chaque participant.

Plusieurs ANOVA à mesures répétées ($\alpha = 0,05$) ont été conduites pour évaluer l'effet du niveau d'exigence de chaque tâche sur les performances, sur les TR à la DRT et sur les scores au NASA-RTLX. Des tests de sphéricité de Mauchly et de normalité de Shapiro-Wilk ont été effectués avant chaque ANOVA. Une correction de Greenhouse-Geisser était appliquée lorsque la sphéricité n'était pas suffisante. Un test de Friedman et des tests post-hoc de Conover étaient privilégiés lorsque la distribution des données ne suivait pas la loi normale. Pour l'évaluation de la validité convergente, des tests de corrélation (Bravais-Pearson) entre les performances aux tâches et les notes obtenues aux

examens ont été utilisés. Un test de corrélation intra-classe a été utilisé pour estimer le niveau de fiabilité inter-juges dans les réponses au questionnaire de validité de contenu.

2.2. Résultats relatifs à la sensibilité des mesures de charge cognitive

2.2.1. Effet du niveau d'exigence des tâches sur la performance

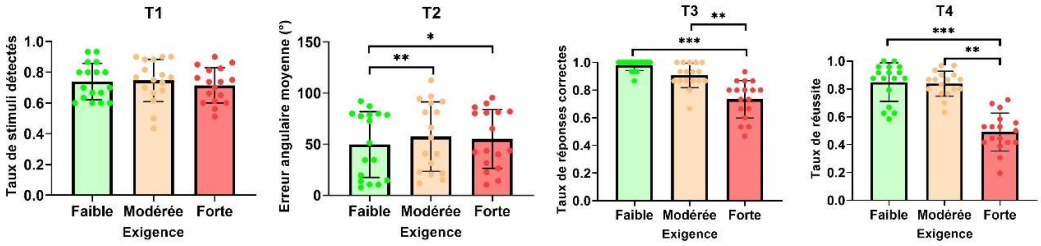


Figure 9 : Performances moyennes pour chaque tâche en fonction du niveau d'exigence.

Pour T1, il n'y avait pas d'effet significatif du niveau d'exigence des tâches sur le taux de réponses correctes (F(2, 32) = 0,672 ; p = 0,518) (voir Figure 9). Pour T2, le niveau d'exigence avait un effet significatif sur l'erreur angulaire moyenne (EAM) ($\chi2(2) = 10,941$; p = 0.004) ; les EAM étaient plus élevées dans la condition « modérée » (57,39 ± 33,88) que « faible » (M = 49,58 ± 32,36, p = 0,004) et plus élevées dans la condition « forte » (M = 55,02 ± 28,92) que « faible » (M = 49,58 ± 32,36, p = 0,015). Pour T3, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence sur le taux de réponses correctes ($\chi2(2) = 24,121$, p < 0.001), qui était plus élevé dans la condition « faible » (M = 0,980 ± 0,039) que « forte » (M = 0,733 ± 0,135, p < 0,001) et plus élevé dans la condition « modérée » (M = 0,906 ± 0,088) que « forte » (M = 0,733 ± 0,135, p = 0,006). Pour T4, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence sur le taux de réussite ($\chi2(2) = 24,121$; p < 0.001), qui étaient plus élevés dans la condition « faible » (M = 0,848 ± 0,138) que « forte » (M = 0,490 ± 0,136, p < 0,001) et plus élevés dans la condition « modérée » (M = 0,837 ± 0,090) que « forte » (M = 0,490 ± 0,136, p < 0,001).

2.2.2. Effet de l'exigence des tâches sur le TR moyen (ms) à la DRT

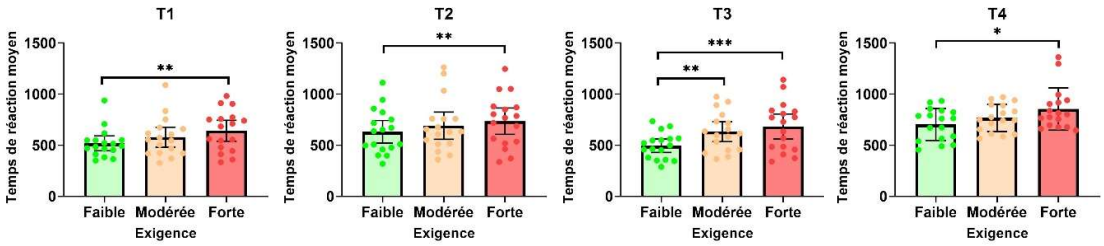


Figure 10 : TR moyen pour chaque tâche en fonction du niveau d'exigence.

Pour T1, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence de la tâche sur le TR moyen (F(2, 32) = 6,157 ; p = 0,005) ; les TR moyens étaient significativement plus élevés dans la condition « forte » (M = 641,17 ± 198,59) que « faible » (M = 518,09 ± 141,06, p = 0,004) (voir Figure 10). Pour T2, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence sur le TR moyen (F(2, 32) = 7,448 ; p = 0,002). Les TR moyens étaient significativement plus élevés dans la condition « forte » (M = 735,13 ± 250,59) que « faible » (M = 630,91 ± 215,95, p = 0,002). Pour T3, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence sur les TR moyens (F(2, 32) = 13,854 ; p < 0,001) ; les TR moyens étaient significativement plus élevés dans la condition « modérée » (M = 631,51 ± 188,40) que « faible » (M = 494,83 ± 127,62, p = 0,002) et également plus élevés dans la condition « forte » (M = 682,64 ± 239,27) que « faible » (M = 494,83 ± 127,62, p < 0,001). Pour T4, le test de Friedman était significatif ($\chi2(2) = 7,529$; p = 0,023) ; les TR moyens étaient significativement plus élevés dans la condition « forte » (M = 853,77 ± 206,57) que « faible » (M = 702,99 ± 155,41), p = 0,030).

2.2.3. Effet de l'exigence des tâches sur les scores obtenus au NASA-RTLX

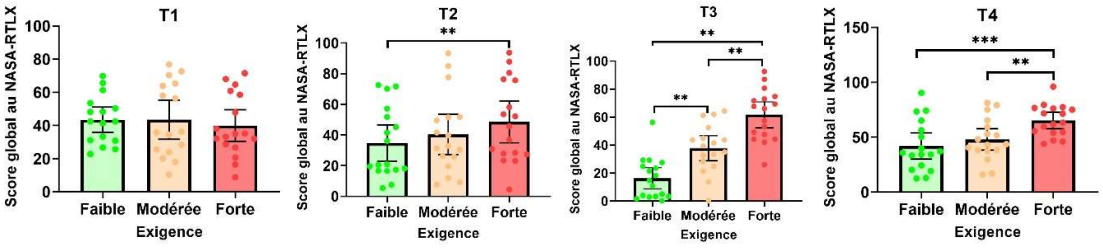


Figure 11 : ***Score globaux au NASA-RTLX pour chaque tâche en fonction du niveau d'exigence.***

Pour T1, il n'y avait pas d'effet significatif du niveau d'exigence des tâches sur le score global au NASA-RTLX ($F(2, 30) = 0,629$; $p = 0,540$) (voir Figure 11). Pour T2, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence sur le score global ($\chi2(2) = 9,343$; $p = 0.009$) ; les scores globaux au NASA-RTLX étaient plus élevés dans la condition « forte » ($M = 48,55 \pm 26,47$) que « faible » ($M = 34,61 \pm 23,00$, $p = 0,005$). Pour T3, le test de Friedman était également significatif ($\chi2(2) = 32,118$; $p < 0.001$) et on constate des différences significatives entre toutes les conditions d'exigence des tâches ($p = 0,015$). Pour T4, il y avait un effet significatif du niveau d'exigence sur le score global ($F(2, 32) = 12,523$; $p < 0,001$) ; les scores globaux étaient plus élevés dans la condition « forte » ($M = 65,30 \pm 14,24$) que « faible » ($M = 41,99 \pm 22,95$, $p < 0,001$) et « modérée » ($M = 48,06 \pm 19,34$, $p < 0,003$).

2.3. Résultats relatifs à la validité convergente et de contenu de l'environnement multitâche simulé

Pour la validité convergente du simulateur, les corrélations entre les performances des quatre tâches et les scores au CM1 et au CT1 n'étaient pas significatives. Les résultats concernant la validité de contenu sont présentés en Figure 12. L'échelle d'interprétation du coefficient corrélation intra-classe pour évaluer la fiabilité inter-juges était la suivante : <0.50, pauvre; entre 0.50 et 0.75, modéré, entre 0.75 et 0.90 bon; et supérieur à 0.90, excellent (Koo & Li, 2016). Le coefficient de corrélation intra-classe était de 0,241 avec un intervalle de confiance à 95% de 0,137 à 0,420, correspondant à un niveau « faible » de fiabilité inter-juges. Due à la faiblesse du niveau d'accord inter-juges, les scores observés ont été classés selon la taxonomie suivante : entre 0 et 25 : « Pas du tout d'accord », entre 25 et 50 : « plutôt pas d'accord », entre 50 et 75 : « plutôt d'accord » et entre 75 et 100 : « tout à fait d'accord » pour estimer quelle proportion de participants ont indiqué être plutôt ou tout à fait d'accord avec chaque proposition. Les résultats montrent que pour les questions 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12 et 13, au moins 50% des réponses étaient supérieures à 50/100. En revanche, pour les questions 1, 2, 3, 5, 10 et 14, moins de 50% des réponses étaient supérieures à 50/100.

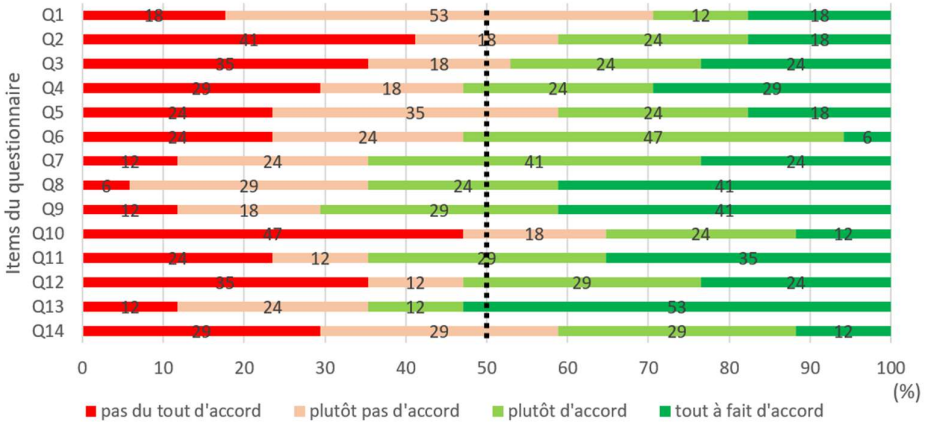


Figure 12 : ***Proportions des niveaux d'accord pour chaque item du questionnaire de validité de contenu.***

3. DISCUSSION

Un dispositif d'évaluation de la charge cognitive du chef de groupe en situation multitâche a été conçu et validé. La démarche de conception débutant par une analyse de l'activité a permis d'identifier l'existence de quatre tâches génériques qui ont été reproduites dans le simulateur. Notre expérimentation a permis d'évaluer la sensibilité des mesures de charge cognitive, ainsi que la validité convergente et de contenu de l'environnement multitâche simulé.

3.1. Sensibilité des mesures aux variations du niveau d'exigence des tâches

Les résultats montrent que les performances aux tâches se sont détériorées à mesure que l'exigence augmentait. Les paramètres choisis pour faire varier l'exigence des tâches étaient donc pertinents. Pour la tâche T2, l'angle d'erreur moyen augmentait à mesure que le temps pour répondre diminuait. Pour la tâche T3, les performances de rappel diminuaient à mesure que la quantité d'information verbale à retenir augmentait, ce qui peut être expliqué par une sollicitation forte, voire excessive, des capacités de la mémoire de travail. Pour la tâche T4, l'efficacité du contrôle du groupe se détériorait à mesure que le nombre de bases militaires à protéger et d'ennemis augmentaient. En revanche pour la tâche T1, les participants sont restés aussi performants même lorsque le nombre d'évènements à détecter augmentait. Les ressources attentionnelles du participant étaient suffisantes pour répondre à l'accroissement de l'exigence de T1, mais pas pour les autres tâches. Pour évaluer la charge cognitive, des mesures objectives (performances à la DRT) et subjectives (scores au NASA-RTLX) ont été utilisées. Pour la DRT, les TR s'allongeaient et la charge cognitive perçue était plus importante à mesure que l'exigence des tâches augmentait. La DRT a donc été sensible aux variations de la charge cognitive, ce qui est concordant avec ce qui a pu être observé dans d'autres études (Stojmenova & Sodnik, 2018). Pour T1, la performance à la tâche et les scores au NASA-RTLX n'ont pas été affectés, contrairement au TR à la DRT. Cela semble indiquer que le participant a investi des ressources supplémentaires pour maintenir son niveau de performance (de Waard, 1996). Les hypothèses H1.a, H1.b et H1.c sont donc validées : les résultats confirment que les mesures de charge cognitive utilisées sont suffisamment sensibles (Matthews et al., 2015).

3.2. Validité convergente et de contenu de l'environnement de tâche simulé

L'absence de relation entre les performances obtenues avec l'environnement multitâche simulé et les notes des examens de chefs de groupe indique que l'évaluation du niveau de validité convergente du simulateur n'est pas concluante. L'absence de corrélation peut toutefois être expliquée par le contenu des examens (CM1 et CT1) ne mobilisant pas directement les fonctions cognitives sous-tendant les tâches en opération, mais les connaissances théoriques ou de procédures que le simulateur ne sollicite pas (Abboudi et al., 2013). Des investigations plus approfondies sont nécessaires pour évaluer plus efficacement la validité convergente, par exemple en estimant la corrélation entre les performances observées avec le simulateur et les performances observées lors d'exercices militaires mettant en œuvre individuellement chaque tâche et s'appuyant sur des mesures fiables et précises, ce qui n'était pas réalisable dans l'étude actuelle.

Concernant la validité de contenu, le coefficient de corrélation intra-classe étant faible, les moyennes sont donc peu informatives (Koo & Li, 2016). Ce désaccord peut être dû à des différences dans la compréhension des items ou une attention excessivement portée sur le réalisme de l'environnement. Il nous a donc semblé plus pertinent d'évaluer, pour chaque item, quelle proportion de participants a indiqué être « plutôt » ou « tout à fait d'accord ». Pour la dimension « représentation mentale de la situation », les faibles scores observés aux items ne sont pas étonnants (Q1 : 30% des participants ont indiqués être plutôt ou tout à fait d'accord, Q2 : 40%). En effet, les tâches ne requièrent pas d'expertise spécifique et ont été conçues pour reproduire uniquement les processus

cognitifs sous-tendant les tâches réelles. Pour la dimension « coûts attentionnels des tâches » les participants ont indiqué que les niveaux d'exigence de T1 (Q3 : 48%) et de T3 (Q5 : 42%) n'étaient pas suffisamment représentatifs mais que les coûts pour T2 (Q4 : 53%) et T4 (Q6 : 53%) étaient fidèles à la réalité. Pour la dimension « processus cognitifs mobilisés », les participants ont perçu que l'ensemble des tâches reproduisaient de manière exhaustive les processus cognitifs des tâches réelles (Q7 : 65%). Spécifiquement, T1 (Q8 : 65%), T2 (Q9 : 70%) et T4 (Q11 : 64%) étaient jugées représentatives de leurs équivalents réels. En revanche, les participants ont trouvé que T3 ne mobilisait pas les mêmes processus cognitifs (Q10 : 36%). L'impossibilité de prendre des notes, comme en situation réelle, est probablement une cause importante du désaccord. Concernant la dimension « utilité et portée pratique », les participants ont indiqué que le simulateur serait utile pour évaluer le niveau de compétence d'un chef de groupe (Q12 : 53%) et qu'il ferait un bon outil d'entraînement (Q13 : 65%). En revanche, les participants ne croient pas que le simulateur permettrait d'apprendre à développer une meilleure « intelligence de situation » (Q14 : 41%). Ce score est concordant avec ceux de la première dimension puisque l'intelligence de la situation dépend également de l'expertise des chefs de groupe, qui n'est pas sollicitée par le simulateur. L'hypothèse H2.a n'est donc pas soutenue par les résultats. En revanche, l'hypothèse H2.b est validée, les résultats étant en faveur d'un niveau de validité de contenu satisfaisant.

3.3. Limites et perspectives

Les tâches ont été conçues pour être effectuées simultanément, chacune représentant un aspect différent des situations multitâches typiques rencontrées par le chef de groupe. La prochaine étape proposera donc de réaliser les tâches simultanément et de calculer un score de performance multitâche pour vérifier de nouveau la validité convergente (Barron & Rose, 2017). Il serait également plus adéquat de comparer les performances obtenues aux tâches du simulateur et celles observées à des exercices centrés sur chacune des quatre tâches principales plutôt que des examens incluant des dimensions non exploitées par le simulateur. De plus, il serait intéressant d'évaluer la validité de construit en comparant les performances de participants civils et militaires. La validité du simulateur et la sensibilité des mesures sont cependant suffisantes pour qu'il constitue le support de futures expérimentations.

4. BIBLIOGRAPHIE

Abboudi, H., Khan, M. S., Aboumarzouk, O., Guru, K. A., Challacombe, B., Dasgupta, P., & Ahmed, K. (2013). Current status of validation for robotic surgery simulators - a systematic review : Current status of validation for robotic surgery simulators. *BJU International*, *111*(2), 194-205.

Barron, L. G., & Rose, M. R. (2017). Multitasking as a Predictor of Pilot Performance : Validity Beyond Serial Single-Task Assessments. *Military Psychology*, *29*(4), 316-326.

Chérif, L., Wood, V., Marois, A., Labonté, K., & Vachon, F. (2018). Multitasking in the military : Cognitive consequences and potential solutions. *Applied Cognitive Psychology*, *32*(4), 429-439.

de Waard, D. (1996). *The Measurement of Drivers' Mental Workload. PhD diss., Traffic Research Centre, University of Groningen, Haren.*

Ehret, B. D., Kirschenbaum, S. S., & Gray, W. D. (1998). Contending with Complexity : The Development and Use of Scaled Worlds as Research Tools. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *42*(3), 254-257.

Georgsson, M. (2019). NASA RTLX as a Novel Assessment for Determining Cognitive Load and User Acceptance of Expert and User-Based Evaluation Methods Exemplified Through a mHealth Diabetes Self-Management Application Evaluation. *Studies in Health Technology and Informatics*, *261*, 185-190.

Harris, D. J., Bird, J. M., Smart, P. A., Wilson, M. R., & Vine, S. J. (2020). A Framework for the Testing and Validation of Simulated Environments in Experimentation and Training. *Frontiers in Psychology*, *11*, 605.

Hegarty, M. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, *32*(2), 175-191.

Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, *15*(2), 155-163.

Matthews, G., Reinerman-Jones, L. E., Barber, D. J., & Abich, J. (2015). The Psychometrics of Mental Workload : Multiple Measures Are Sensitive but Divergent. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *57*(1), 125-143.

Ophir-Arbelle, R., Oron-Gilad, T., Borowsky, A., & Parmet, Y. (2013). Is More Information Better? How Dismounted Soldiers Use Video Feed From Unmanned Vehicles: Attention Allocation and Information Extraction Considerations. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, *7*(1), 26-48.

Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2011). *The multitasking mind*. Oxford University Press.

Santiago-Espada, Y., Myer, R. R., Latorella, K. A., & Comstock Jr, J. R. (2011). *The multi-attribute task battery ii (matb-ii) software for human performance and workload research : A user's guide*.

Stojmenova, K., & Sodnik, J. (2018). Detection-Response Task—Uses and Limitations. *Sensors*, *18*(2), 594.

Vine, C., Coakley, S., Myers, S., Blacker, S., & Runswick, O. (2022). The development, and day-to-day variation, of a Military-Specific Auditory N-Back Task and Shoot-/Don't -Shoot Task. *Experimental Results*, *3*, E15.

CL : *Analyse de la tâche pour la conception d'un simulateur virtuel pour l'anesthésie locorégionale échoguidée.*

Cassandre Simon

Laboratoire Informatique, BioInformatique, Système Complexe, Univ. D'Évry, Université Paris-Saclay

36 Rue Du Pelvoux, 91080 Évry-Courcouronnes, France. cassandre.simon@univ-evry.fr

Elsa Brocas

Pôle Anesthésiologie, Centre Hospitilier Sud Francilien, Corbeil-Essonne, France. elsa.brocas@chsf.fr

Samir Otmane

Laboratoire Informatique, BioInformatique, Système Complexe, Univ. D'Évry, Université Paris-Saclay

36 Rue Du Pelvoux, 91080 Évry-Courcouronnes, France. samir.otmane@univ-evry.fr

& Amine Chellali

Laboratoire Informatique, BioInformatique, Système Complexe, Univ. D'Évry, Université Paris-Saclay

36 Rue Du Pelvoux, 91080 Évry-Courcouronnes, France. amine.chellali@univ-evry.fr

RÉSUMÉ

Pour donner suite aux directives de la Haute Autorité de Santé, la simulation fait partie intégrante des nouvelles techniques d'enseignements en médecine. Cependant, dans certaines spécialités comme l'anesthésiologie, les outils de simulations à disposition ne répondent pas encore aux attentes des praticiens. Afin de remédier à ces problématiques, de nouveaux outils utilisant les nouvelles technologies pourraient être une solution. Néanmoins, leur conception nécessite une attention particulière afin que celle-ci satisfasse les besoins des praticiens. Dans l'intention de concevoir un simulateur en réalité virtuelle dédié à l'apprentissage de la procédure de l'anesthésie locorégionale échoguidée, nous avons adopté une approche centrée-utilisateur. La première étape consistait donc à réaliser une analyse des tâches effectuées par les opérateurs et des compétences pour leur réalisation. Cet article a pour but de proposer un modèle de tâches basé sur le formalisme MAD. Une association entre les tâches recensées et les compétences est également présentée.

MOTS-CLÉS

Conception centrée-utilisateur, Anesthésie locorégionale échoguidée, Modèle d'analyse de tâche, MAD, Compétences.

1. INTRODUCTION

Pour donner suite à la directive de 2012 de la Haute Autorité de Santé (HAS) « **jamais la première fois sur un patient** » (Granry & Moll, 2012), l'utilisation de la simulation est devenue inéluctable pour l'apprentissage médical. L'objectif à travers cette directive est d'éviter les gestes médicaux invasifs et de conserver la sécurité du patient (Betz et al., 2014). C'est pourquoi, le développement des nouveaux outils pour la formation médicale est devenu un besoin indubitable. Parmi les spécialités visées par cette directive, nous nous intéressons dans ce travail à l'anesthésie, et plus particulièrement l'anesthésie locorégionale échoguidée (ALE). En effet, cette pratique demande spécifiquement de maîtriser des gestes techniques assez complexes.

1.1. L'anesthésie locorégionale échoguidée

L'anesthésie locorégionale est une procédure au cours de laquelle un anesthésiant est injecté autour des nerfs à travers une aiguille afin de bloquer l'influx nerveux provenant de la zone à opérer. Cette technique, à contrario d'une anesthésie générale, procure une plus grande efficacité analgésique et par conséquent, une diminution d'incident, d'effets secondaires et de besoins post-opératoires (SFAR, 2021; Gaertner, 2001). Il existe deux méthodes pour repérer les nerfs à anesthésier : la neurostimulation et l'échographie. Ces dernières années, l'anesthésie locorégionale guidée par échographie s'est imposée face à la neurostimulation car elle donne la possibilité de voir en temps réel les nerfs à anesthésier, permettant ainsi de réduire le volume d'anesthésiant injecté et d'améliorer la précision des injections (Ecoffey & Estebe, 2008). Ainsi, la procédure à l'ALE requiert que le praticien maîtrise différentes compétences techniques. Par exemple, la manipulation de la sonde échographique avec la reconnaissance de l'image ou encore l'insertion d'aiguille car les nerfs sont souvent proches de structures vitales, comme les artères et les veines (Bouaziz & Jochum, 2010).

Néanmoins, à l'heure actuelle, la formation des nouveaux anesthésistes est basée essentiellement sur des cours magistraux et des observations didactiques. Puis, ils sont amenés à pratiquer directement sur un patient sous la supervision d'un pair plus expérimenté (Chang, 2013). Ainsi, l'utilisation de la simulation pour enseigner aux internes les gestes techniques fondamentaux à la réalisation de cette procédure est plus qu'indispensable afin de ne pas compromettre la sécurité des patients.

1.2. Simulateurs en anesthésie locorégionale échoguidée

Selon la littérature, le terme « simulation » peut se définir de différentes manières et ne trouve pas de compromis parmi les chercheurs. Ainsi, en raison de ce manque de consensus et par rapport à notre thématique de recherche sur la formation en santé, la définition suivante nous a paru la plus adaptée car elle reprend bien le rôle de la simulation médicale dans la formation des professionnels de santé : « Le terme simulation en santé correspond à l'utilisation d'un matériel (comme un mannequin ou un simulateur procédural), de la réalité virtuelle, ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin, dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de répéter des processus, des concepts médicaux, ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels » (Granry & Moll, 2012).

Ainsi, la simulation en santé regroupe diverses méthodes et techniques. En ALE, certains simulateurs ont vu le jour comme le Blue Phantom Select. Ce simulateur est utilisé pour apprendre les gestes techniques essentiels tels que l'insertion d'aiguille. Le Blue Phantom est un bloc en silicone intégrant des petites structures tubulaires (artère, veine et nerf). Néanmoins, pour l'utiliser, il doit être accompagné d'un échographe externe ainsi que d'une aiguille qui ne sont pas fournies. De plus, ce simulateur reste coûteux avec une durée de vie limitée. En effet, les aiguilles insérées laissent des traces visibles à l'échographie changeant ainsi les propriétés mécaniques du tissu pouvant par conséquent gêner les apprenants suivants (Nicholson & Crofton, 1997; Enquobahrie et al., 2019).

Face à cette problématique de durabilité, de nouveaux moyens ont été explorés tels que l'utilisation de la réalité virtuelle qui permet d'offrir un environnement sécuritaire pour l'apprentissage. Cette technologie permet d'immerger les apprenants dans un environnement réaliste au sein duquel ils peuvent s'entraîner sur divers scénarios de manière répétitif et illimitée dans le temps jusqu'à maîtriser la compétence visée. De cette façon, le formateur peut enseigner les compétences techniques (compétences concernant le geste), non-techniques (compétence de planification des soins, communication, travail d'équipe) ou encore procédurales (réalisation d'un enchaînement d'action) à l'apprenant sans risquer la vie du patient (Benhamou et al., 2012).

L'utilisation de la simulation en réalité virtuelle a déjà montré son efficacité pour l'apprentissage des compétences médicales (Yiannakopoulou et al., 2015; Seymour et al., 2002; Chellali et al., 2016).

Toutefois, le développement de ce type d'outils est complexe et potentiellement coûteux (Chellali et al., 2016) avec un manque de lignes directrices pour la conception. C'est pourquoi, l'acception de cette technologie pour la formation implique une approche de conception rigoureuse, visant à assurer une fidélité élevée des tâches et compétences à apprendre, de l'environnement ainsi que du comportement des apprenants par rapport au monde réel (Harris et al., 2020). Pour cela, des méthodes de conception centrée-utilisateurs doivent être employées afin de développer ces nouvelles technologies mieux adaptées aux besoins des utilisateurs (Chellali et al., 2016).

1.3. Conception centrée-utilisateur

La méthode de la conception centrée-utilisateur a été décrite dans la norme ISO 9241-210. La première étape à réaliser pour concevoir un simulateur à travers cette approche est de comprendre et de préciser le contexte en étudiant les caractéristiques des utilisateurs (ex : leurs expertises et compétences), en formalisant les tâches qu'ils devront effectuer avec le système et en analysant l'environnement au sein duquel le système sera intégré (Loup-Escande et al., 2013). Pour réaliser cette première étape, l'une des méthodes associées est celle de l'analyse de la tâche.

L'analyse de la tâche permet de mieux comprendre comment les utilisateurs passent des objectifs aux tâches puis aux actions. Ainsi, la finalité de cette analyse est de mettre en évidence l'ensemble des tâches réalisées afin de mieux comprendre comment une activité est effectuée et comment il faudrait la simuler. Pour cela, il existe divers modèles d'analyse de tâches tels que la Méthode Analytique de Description de Tâches (MAD) proposée par Scapin et Pierret-Golbreich (1989). Ce modèle permet de décomposer les tâches en sous-tâches, de mettre en évidence les relations d'ordonnance temporelle des sous-tâches et de recenser les objets utilisés pour accomplir la tâche. De plus, son formalisme simple des tâches permet à une équipe pluridisciplinaire de pouvoir le comprendre plus facilement.

Cette étude a donc pour objectif de réaliser la première étape de la conception centrée-utilisateur dans le but de mieux connaître les tâches et compétences liées à l'ALE. La finalité de celle-ci, sera de concevoir un simulateur en réalité virtuelle visant à former les internes à la réalisation de l'ALE.

2. MÉTHODOLOGIE

L'analyse de la tâche et des compétences a été réalisée en trois étapes décrites ci-après.

2.1. Conception du modèle de tâches

Afin de suivre les principes de la conception centrée-utilisateur, la première étape a consisté à concevoir le modèle de tâche. Ce travail décompose la procédure en étapes, tâches et sous-tâches. L'ensemble des étapes permet d'atteindre l'objectif principal de la procédure. Les étapes ne se produisent qu'une seule fois. Les tâches sont des actions qui sont combinées pour atteindre l'objectif de l'étape. Elles peuvent se produire plusieurs fois au cours d'une même étape. Les tâches sont composées de sous-tâches, d'actions plus définies. Les sous-tâches peuvent se produire plusieurs fois au cours d'une même tâche. Les étapes, les tâches et les sous-tâches sont de nature hiérarchique. Leur ordre et leur structure peuvent donc être représentés par des diagrammes en arbre. Ainsi, des arbres de décomposition hiérarchique décrivant la procédure ALE à ces différents niveaux de détails ont été générés en utilisant le logiciel de cartographie mentale Xmind (XMIND LTD, version 22.09.3168).

Le modèle de tâche a été réalisé à partir de données provenant de la littérature, de vidéos pédagogiques (Quincy Anesthésie, 2021), ainsi que des observations macroscopiques effectuées sur le

terrain pendant sept jours au service d'anesthésie-réanimation partenaire (un total de 42 cas observés). Pendant ces observations, nous avons demandé aux anesthésistes de verbaliser leurs pratiques afin d'avoir des précisions sur les tâches réalisées pour accomplir la procédure. Cette verbalisation s'est effectuée sous forme de question-réponse inspiré de la technique du TPC (Bisseret et al., 1999). Une fois l'ensemble des données regroupées, le modèle MAD a été construit sur Xmind.

2.2. Validation du modèle de tâches

La première étape de validation s'est déroulée lors de la réunion hebdomadaire du service d'anesthésie-réanimation partenaire. Cette réunion a regroupé dix anesthésistes experts. Pendant cette séance de validation d'une durée d'une heure, le diagramme a été exposé par vidéoprojecteur devant l'équipe d'anesthésistes. Au cours de cette séance, les anesthésistes étaient invités à s'exprimer librement sur la cohérence du modèle par rapport à leur pratique individuelle. Ainsi, ces retours en temps réel ont permis de confronter les pratiques. L'intérêt de cette démarche était de réaliser un modèle générique de la pratique de la procédure d'ALE.

À la suite de cette première phase de validation, des modifications ont été apportées au modèle de tâches en se basant sur les retours des experts. Ces modifications portaient majoritairement sur des erreurs de terminologie.

La validation finale s'est effectuée à distance en raison du planning chargé des anesthésistes. Ainsi, le diagramme a été envoyé par mail accompagné d'un questionnaire de validation en ligne, permettant de spécifier le profil des répondants ainsi que leur avis positif ou négative sur la validité du modèle.

2.3. Association tâches-compétences

Une fois le modèle des tâches validé par les experts, nous avons associé les tâches aux compétences auxquelles elles faisaient référence. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les travaux de Bouaziz et Jochum (2010) listant les compétences à développer pour réaliser une ALE ainsi que sur les verbalisations de celles-ci par les praticiens lors de l'étape de validation du modèle.

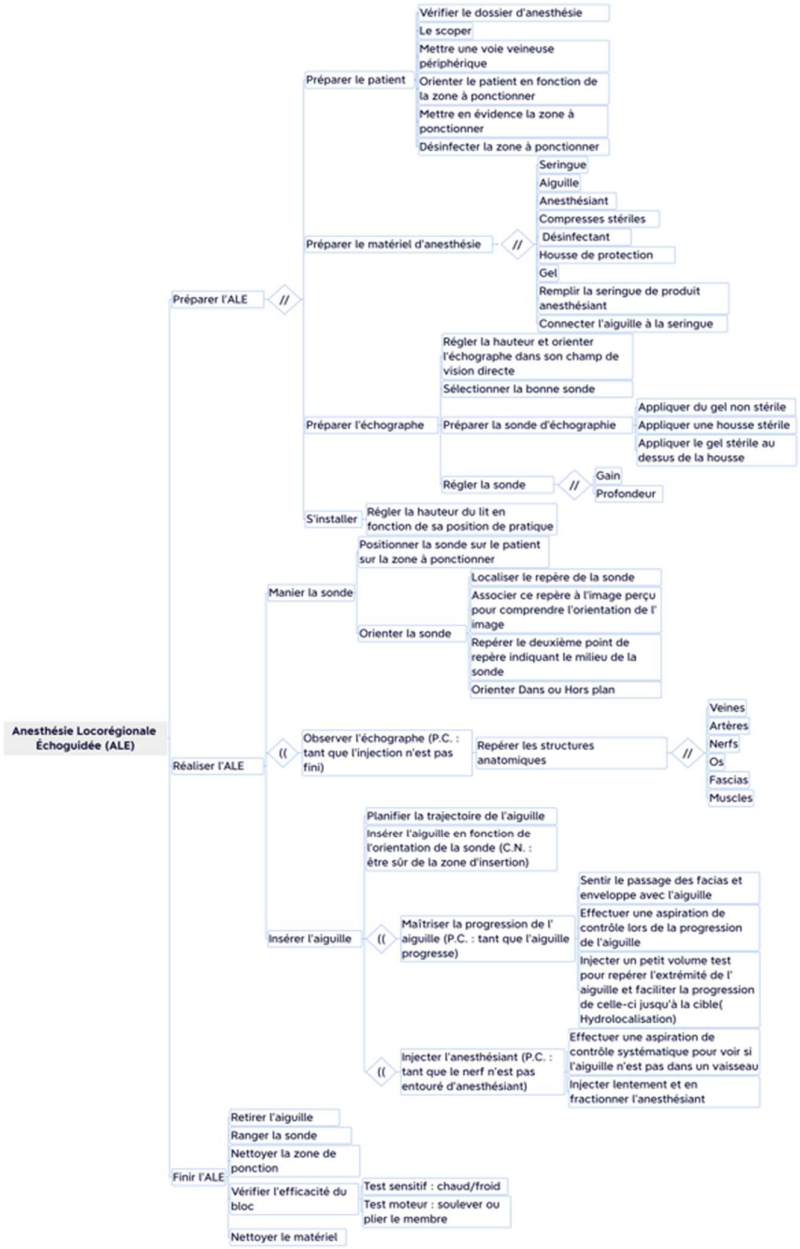
3. RÉSULTATS

3.1. Participants

Sur les dix anesthésistes présents lors de la première séance de validation, seuls huit ont répondu au questionnaire de validation finale (6 hommes et 2 femmes, avec 13.12 ± 8.33 pour le nombre moyen d'années de pratique et 675 ± 353 cas d'ALE réalisés en moyenne).

3.2. Décomposition hiérarchique des tâches

L'ALE est une technique d'injection d'anesthésique au niveau d'un bloc nerveux pour l'anesthésie ou l'analgésie postopératoire de plusieurs types de chirurgie du membre inférieur ou supérieur, comme l'ostéosynthèse de la fracture du col du fémur à la prothèse totale de genou. Notre analyse montre que l'ALE se compose de trois étapes principales, elles-mêmes décomposées en tâches et sous-tâches. La première étape consiste à préparer le patient en l'installant et en préparant la zone à anesthésier tout en s'assurant du respect des règles d'hygiène. Cette étape inclut également la préparation du matériel à utiliser. Ce dernier comprend un échographe avec une sonde linéaire et une aiguille. La seconde étape consiste à réaliser l'ALE. Elle inclut la manipulation de la sonde à la surface de la peau du patient pour observer et repérer les structures anatomiques tout en insérant l'aiguille. Lorsque l'aiguille atteint la zone cible, le praticien peut injecter l'anesthésiant puis observe sa distribution autour du nerf. La décomposition hiérarchique de la procédure d'ALE est présentée sur la Figure 13. Tous les experts participants ont validé l'arbre de décomposition hiérarchique proposé.



<u>Figure 13 :</u> MAD de la procédure de l'anesthésie locorégionale échoguidée.

3.3. Association tâches-compétences

Après discussion avec les experts, nous avons choisi de nous concentrer uniquement sur l'étape « Réaliser l'ALE » et ses tâches pour le développement de notre simulateur d'ALE. En effet, les experts ont souligné que les compétences à apprendre pour cette étape étaient les plus difficiles à acquérir et celles qui nécessitent la courbe d'apprentissage la plus longue. Ainsi, dans cette phase d'association, nous avons uniquement mis en relation les sous-tâches et les compétences liées à cette étape. La Figure 2 représente un focus sur cette étape, ses tâches et leurs sous-tâches.

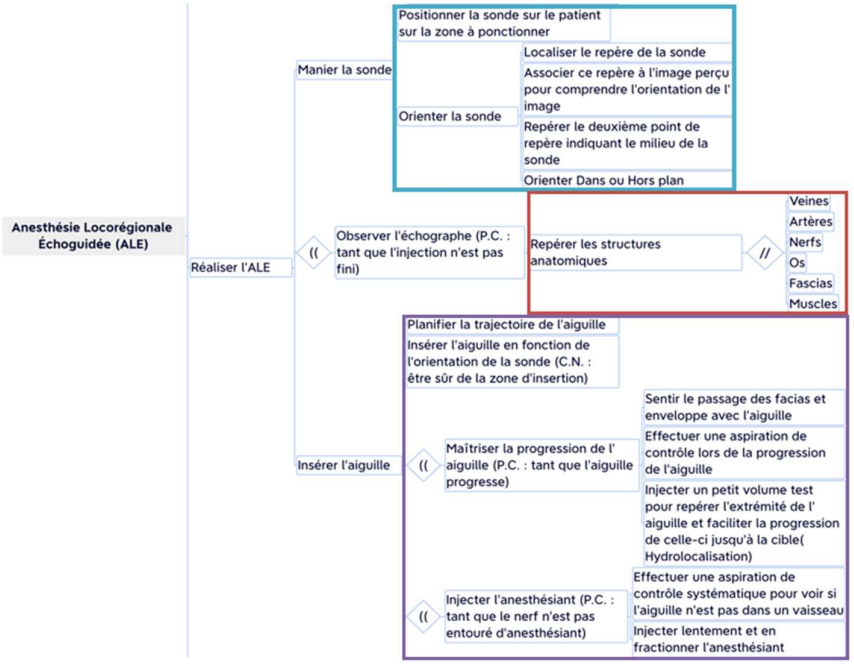


Figure 14 : Zoom sur l'étape "Réaliser l'ALE".

Selon Bouaziz et Jochum (2010), les compétences nécessaires à la maîtrise de l'ALE peuvent être regroupées en quatre catégories : (1) la compréhension des bases physiques des ultrasons et manipulation de l'équipement, (2) l'optimisation de l'image, (3) l'interprétation de l'image et (4) l'introduction de l'aiguille et injection de la solution. Parmi ces quatre catégories, seules les trois dernières sont liées à l'étape « Réaliser une ALE ». À titre d'exemple, le groupe de compétence « Introduction de l'aiguille et injection de la solution » inclut des compétences telles que : savoir reconnaître la position intramusculaire de l'aiguille, apprendre à reconnaître une diffusion optimale de la solution ou encore minimiser les mouvements non-intentionnels (Bouaziz & Jochum, 2010). Nos associations entre les sous-tâches et les compétences sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 3 : Associations des compétences pour l'étape "Réaliser l'ALE"

Sous-tâches	**Groupe de Compétences**	**Compétences associées**
Orienter la sonde	Optimisation de l'image	- Comprendre et savoir utiliser l'alignement de la sonde - Comprendre et savoir utiliser la rotation de la sonde - Comprendre et savoir utiliser le mouvement d'inclinaison de la sonde en direction caudale et crâniale
Positionner la sonde sur le patient		- Maîtriser les conséquences d'une pression plus ou moins importante exercée par la sonde
Repérer les structures anatomiques	Interprétation de l'image	- Identifier les nerfs - Identifier les muscles et les fascias - Identifier les vaisseaux, et être capable de distinguer artères et veines - Identifier les os et la plèvre - Connaître et reconnaître les images construites - Connaître et identifier les pièges anatomiques - Repérer les structures vasculaires situées sur le trajet de l'aiguille
Planifier la trajectoire de l'aiguille	Introduction de l'aiguille et	- Maîtriser l'approche *dans le plan* - Maîtriser l'approche *hors plan* - Maîtriser les avantages et les limites de chacune des approches

Insérer l'aiguille en fonction de l'orientation de la sonde	injection de la solution	- Maîtriser l'approche *dans le plan* - Maîtriser l'approche *hors plan* - Maîtriser les avantages et les limites de chacune des approches
Maîtriser la progression de l'aiguille		- Savoir reconnaître la position intramusculaire de l'aiguille - Optimiser l'ergonomie - Contrôler d'une manière coordonnée les mouvements des yeux et des mains - Minimiser les mouvements non intentionnels
Injecter l'anesthésiant		- Savoir reconnaitre une position intra vasculaire de l'aiguille - Apprendre à reconnaître une diffusion optimale de la solution

4. DISCUSSION & PERSPECTIVES

La conception de nouveaux outils pour l'enseignement médical demande de la rigueur compte tenu du contexte de sécurité attendu. Généraliser les méthodes de conception et impliquer les utilisateurs (apprenants) et les spécialistes du domaine (experts) dans la boucle permet de mieux déterminer leurs besoins et leurs attentes (Chellali et al., 2016). C'est pourquoi, utiliser la méthode MAD pour construire et valider le modèle hiérarchique des tâches de l'ALE nous a semblé être le plus adapté pour guider la conception de notre simulateur. En effet, son formalisme simple et compréhensible de tous a représenté un avantage notamment lors de sa validation.

Grâce au travail effectué en collaboration avec les experts de la discipline, nous avons pu recenser l'ensemble des tâches à effectuer pour réaliser une ALE (Figure 13). Nous avons également proposé une association entre certaines tâches et les compétences nécessaires à leur réalisation (Tableau 3). À notre connaissance, c'est le premier travail à proposer un modèle des tâches et une association tâches-compétences pour l'ALE. Bien que différentes approches puissent exister pour la réalisation de cette procédure, la validation par huit experts différents du modèle de tâches proposé permet de conclure que celui-ci est suffisamment générique pour décrire la procédure d'ALE. Néanmoins, l'étude ayant été réalisée dans un seul service, dans lequel les membres ont l'habitude de travailler ensemble et d'échanger sur leur pratique, il nous semble nécessaire dans le futur de faire valider ce modèle par d'autres experts, externes au service en question, afin de valider sa généralisabilité.

La décomposition hiérarchique est un outil analytique puissant permettant de construire un cadre pour structurer un environnement de travail complexe, tel qu'un bloc opératoire (Cao et al., 1999). Ceci permet notamment de guider la conception des simulateurs virtuels avec des modules spécifiques centrés sur les compétences nécessitant une attention particulière pendant la formation.

Ce travail a plusieurs implications sur la conception de notre simulateur immersif pour l'apprentissage de l'ALE.

D'abord, et après discussions avec les experts, notre attention s'est plus particulièrement portée sur l'étape de réalisation de l'ALE, ainsi que ses tâches et sous-tâches. En effet, elle inclut selon les experts, les compétences les plus critiques à acquérir lors de l'apprentissage de l'ALE. Ceci suggère que notre conception du simulateur de formation devra être centrée sur les tâches de manipulation de la sonde et de l'aiguille ainsi que sur l'observation et l'interprétation des images d'échographie.

Ainsi pour maîtriser le groupe de compétences "Optimisation des images", le simulateur devra permettre une manipulation naturelle de la sonde d'échographie (pour maîtriser ses mouvements) ainsi qu'un retour haptique lorsqu'elle touche le corps du patient (pour maîtriser la pression). Ensuite, pour maîtriser le groupe de compétences "Interprétation de l'image", le simulateur devra inclure un affichage fidèle et dynamique des images d'échographie incluant l'ensemble des structures anatomiques visées ainsi qu'une cohérence de leur placement par rapport à l'anatomie humaine. Enfin,

pour maîtriser le groupe de compétences "Introduction de l'aiguille et injection de la solution", le simulateur devra inclure une manipulation naturelle de l'aiguille avec un retour haptique afin de maîtriser ses mouvements, d'assurer la maîtrise de la coordination œil-main, et d'apprendre à contrôler les mouvements non-intentionnels. La maîtrise des deux approches de positionnement de la sonde par rapport à l'aiguille (dans et en dehors du plan) nécessitera en plus de la manipulation naturelle des instruments, une correspondance à l'échelle-1 entre les mouvements de l'utilisateur dans le monde réel et les déplacements des objets correspondants de l'environnement virtuel.

Néanmoins, une étude plus approfondie de l'environnement du bloc opératoire, et plus particulièrement des équipements et instruments nécessaires à la réalisation de l'ALE sera nécessaire afin de simuler l'environnement virtuel d'une manière suffisamment fidèle pour assurer l'immersion des apprenants pendant la formation.

Enfin, les observations réalisées ont été uniquement focalisées sur les tâches et les compétences. D'autres aspects, tels que les interactions formateurs-apprenants n'ont pas été étudiés. La communication est un aspect très important lors du transfert des compétences entre l'anesthésiste expert et le novice. Par conséquent, nous projetons d'explorer dans une prochaine étude, la communication expert-novice durant l'enseignement de la procédure. Le but sera de recenser les modalités de communication utilisées pour le transfert des compétences et d'explorer leur transposition dans un simulateur virtuel pour l'ALE. Notre hypothèse étant que la réintroduction du formateur dans un simulateur immersif, permettrait un meilleur transfert de compétences. En effet, cette approche permettra de reproduire les méthodes d'apprentissage par compagnonnage observées sur le terrain et ayant fait leurs preuves, tout en respectant les recommandations de l'HAS qui préconise une formation par la simulation afin d'assurer la sécurité des patients.

5. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ETHIQUES

Ce travail a été soutenu par l'Agence National de la Recherche (ANR-20-CE33-0010Show-me).

6. REFERENCES

Benhamou, D., Roulleau, P., & Trabold, F. (2012). La simulation en anesthésie-réanimation: outil pédagogique et d'amélioration de la prise en charge des patients. *Réanimation, 22*, 383–390.

Betz, R., Ghuysen, A., & D'Orio, V. (2014). Simulation en pédagogie médicale: état des lieux. *Revue médicale de Liège, 69*.

Bisseret, A., Sébillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes.* Toulouse: Octarès.

Bouaziz, H., & Jochum, D. (2010). Formation et évaluation de l'apprentissage. *SFMU/Samu de France-Enseignement supérieur et conférences*.

Cao, C. G., MacKenzie, C. L., Ibbotson, J. A., Turner, L. J., Blair, N. P., & Nagy, A. G. (1999). Hierarchical decomposition of laparoscopic procedures. *Studies in Health Technology and Informatics, 62*, 83–89.

Chang, C.-H. (2013). Medical simulation is needed in anesthesia training to achieve patient's safety. *Korean Journal of Anesthesiology, 64*, 204–211.

Chellali, A., Mentis, H., Miller, A., Ahn, W., Arikatla, V. S., Sankaranarayanan, G., . . . Cao, C. G. (2016). Achieving interface and environment fidelity in the Virtual Basic Laparoscopic Surgical Trainer. *International journal of human-computer studies, 96*, 22–37.

Ecoffey, C., & Estebe, J.-P. (2008, October). De la neurostimulation à l'échoguidage : une révolution pour la pratique clinique quotidienne et l'enseignement de l'anesthésie locorégionale. *Annales Françaises d\textquotesingleAnesthésie et de Réanimation, 27*, 795–796.

Enquobahrie, A., Horvath, S., Arikatla, S., Rosenberg, A., Cleary, K., & Sharma, K. (2019, November). Development and face validation of ultrasound-guided renal biopsy virtual trainer. *Healthcare technology letters, 6*, 210–213.

Gaertner, E. (2001). Anesthésie locorégionale en ambulatoire. Dans *Conférences d'actualisation SFAR* (pp. 185–202).

Granry, J. C., & Moll, M. C. (2012). Rapport de mission Haute Autorité de Santé. *Etat de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé.*

Harris, D. J., Bird, J. M., Smart, P. A., Wilson, M. R., & Vine, S. J. (2020). A framework for the testing and validation of simulated environments in experimentation and training. *Frontiers in Psychology, 11*, 605.

Loup-Escande, E., Dominjon, L., Perret, D., Erhel, S., Jamet, E., Michinov, N., . . . Ragot, M. (2013). La démarche de Conception Centrée-Utilisateur en Réalité Virtuelle: l'exemple du projet VirtualiTeach. *Journées de l'Association Française de Réalité Virtuelle*.

Nicholson, R. A., & Crofton, M. (1997). Training phantom for ultrasound guided biopsy. *The British journal of radiology, 70*, 192–194.

Quincy Anesthésie. (2021). *Emissions*. Consulté le Février 4, 2023, sur Emissions: http://quincyanesthesie.com/webtv/emissions/

Scapin, D. L., & Pierret-Golbreich, C. (1989). MAD: Une méthode analytique de description des tâches. *Actes du colloque sur l'ingénierie des Interfaces Homme-Machine.*

Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O'brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., & Satava, R. M. (2002). Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. *Annals of surgery, 236*, 458.

SFAR. (2021). *Information médiale sur l'anesthésie*. Consulté le Février 4, 2023, sur Information médiale sur l'anesthésie: https://sfar.org/pour-le-grand-public/information-medicale-sur-lanesthesie/

Yiannakopoulou, E., Nikiteas, N., Perrea, D., & Tsigris, C. (2015). Virtual reality simulators and training in laparoscopic surgery. *International Journal of Surgery, 13*, 60–64.

CL : *Vers une approche comportementale de distinction des phases d'apprentissage procédural : le cas d'une procédure d'assemblage en environnement virtuel.*

Anaïs Raison, Nathalie Le Bigot, Olivier Augereau & Franck Ganier
Univ Brest, Lab-STICC, CNRS, UMR 6285, F-29238 Brest Cedex 3, France
anais.raison@univ-brest.fr
Univ Brest, Lab-STICC, CNRS, UMR 6285, F-29238 Brest Cedex 3, France
nathalie.lebigot@univ-brest.fr
ENIB, Lab-STICC, CNRS, UMR 6285, F-29238 Brest Cedex 3, France
augereau@enib.fr
Univ Brest, Lab-STICC, CNRS, UMR 6285, F-29238 Brest Cedex 3, France
franck.ganier@univ-brest.fr

RÉSUMÉ

Les environnements virtuels exploités pour acquérir des procédures et les transférer à des situations réelles manquent souvent d'adaptabilité face au rythme d'apprentissage de chaque apprenant. L'objectif de la présente étude était d'analyser le déroulement de l'apprentissage de procédure et d'examiner la pertinence d'un indicateur comportemental pour repérer en temps réel et de façon automatique les phases d'apprentissage procédural. L'identification de la progression de chaque apprenant permettrait d'adapter les scénarios pédagogiques. Soixante-trois individus ont participé à l'expérience afin d'apprendre une procédure d'assemblage du cube de Soma en environnement virtuel à partir d'instructions graphiques. L'analyse des traces de l'activité ainsi que de la charge de travail mental ont montré une progression des performances et une diminution du coût cognitif au fur et à mesure de la pratique de la tâche. Une proposition de découpage de l'activité des apprenants par phases est analysée et des perspectives d'amélioration sont fournies.

MOTS-CLÉS

Apprentissage de procédure, charge de travail mental, données comportementales, environnement virtuel d'apprentissage humain, phases d'apprentissage

1. INTRODUCTION

Dans divers domaines d'activité, la réalisation de certaines tâches est effectuée par des professionnels faisant preuve d'un niveau de compétence élevé atteint après une formation souvent longue. Aujourd'hui, certaines formations utilisent des Environnements Virtuels d'Apprentissage Humain (EVAH) afin de réduire les coûts, de garantir la sécurité des apprenants ou encore de permettre l'acquisition de « savoir-faire » par la pratique (Ganier, Hoareau & Devillers, 2013). Ces EVAH ont par exemple déjà été exploités pour acquérir des procédures et les transférer à des situations réelles (Ganier, Hoareau & Tisseau, 2014). Cependant, les scénarios pédagogiques proposés sont souvent prototypiques alors que les différences interindividuelles en termes de capacités et de rythmes d'apprentissage sont importantes lors de l'acquisition d'une compétence (Anderson, Lohse, Lopes & Williams, 2021). Il faudrait donc exploiter le potentiel d'adaptabilité des EVAH afin de permettre la personnalisation du scénario pédagogique aux progrès réalisés par chaque individu. Par ailleurs, les EVAH facilitent le suivi de l'activité des apprenants puisqu'ils offrent la possibilité d'enregistrer automatiquement de nombreuses données comportementales (Deeva, Bogdanova, Serral, Snoeck & De Weerdt, 2021). Ces données quantitatives, recueillies en temps réel, ont déjà été utilisées dans un

but d'adaptation de la formation aux apprenants avec par exemple la génération de *feedback* (Deeva et al., 2021). Dans une perspective d'amélioration de formations liées à l'acquisition de savoir-faire en *e-learning* par la réalité virtuelle (RV), la présente étude s'intéresse aux situations d'apprentissage procédural par traitement d'instructions (Heurley & Ganier, 2006). L'objectif principal est d'examiner la pertinence d'un indicateur comportemental pour repérer dans quelle phase d'apprentissage se situe un individu. Ce travail s'appuie sur la théorie ACT-R (*Adaptive Control of Thought Rational*) proposée par Anderson (1982; Corbett & Anderson, 1994) et qui explique le passage d'un traitement conscient de connaissances déclaratives à l'application automatique d'habiletés en distinguant trois phases.

A partir de ce découpage de l'activité des apprenants, plusieurs méthodes d'identification des phases d'apprentissage ont émergé telles que le lien entre des indicateurs graphiques des courbes d'apprentissage et les phases d'apprentissage (Taylor & Ivry, 2012). Plus récemment, des travaux utilisant à la fois des données comportementales et des données d'imagerie cérébrale ont révélé des changements dans le niveau d'activation des aires cérébrales pouvant caractériser le passage d'une phase d'apprentissage à l'autre (Tenison, Fincham & Anderson, 2016; Tenison & Anderson, 2016). D'autres approches d'identification des phases d'apprentissage ont été proposées, dont celles de Ganier et al. (2013) et Hubert et al. (2007) qui proposent des indicateurs comportementaux et des règles associées pour déterminer les transitions d'une phase à l'autre de manière individuelle. Par exemple, Hubert et al. (2007) ont utilisé le nombre de mouvements et Ganier et al. (2013) ont, quant à eux, proposé le nombre de consultations de consigne afin de distinguer les trois phases d'apprentissage. Ces travaux offrent un moyen intéressant de suivre en temps réel l'évolution de chaque apprenant dans les trois phases d'apprentissage.

Les résultats de l'ensemble de ces travaux présentent l'avantage de caractériser les phases à la fois au niveau comportemental, cognitif et cérébral. Les données comportementales restent toutefois les plus utilisées et présentent l'avantage de pouvoir détecter l'évolution des apprenants en temps réel, sans méthode intrusive. De plus, seuls Ganier et al. (2013) ont abordé une situation d'apprentissage par traitement d'instructions. La présente étude analyse le déroulement de l'apprentissage de procédure en environnement virtuel et examine la proposition d'identification des phases d'apprentissage procédural évoquée par ces derniers. Plusieurs hypothèses ont été formulées : H1 : une pratique répétée de la tâche devrait induire de meilleures performances jusqu'à l'atteinte de performances optimales ; H2 : la charge de travail mental devrait être élevée au début de l'apprentissage puis diminuer au fur et à mesure des exécutions de la tâche pour enfin aboutir à une absence de fluctuations ; H3 : l'exécution de la procédure après un délai de plusieurs jours devrait conduire à des performances et à un niveau de charge de travail mental proches de ceux recueillis lors des derniers essais précédant l'interruption ; H4 : le nombre de consultations des instructions devrait permettre de repérer une évolution des apprenants par trois phases de l'apprentissage. Plus précisément, la phase cognitive se caractériserait par un recours systématique aux instructions (i.e., nombre de consultations des instructions similaire au nombre d'étapes de la procédure) voire même des re-consultations. Au cours de la phase associative, la consultation d'une seule instruction devrait induire la réalisation de plusieurs actions consécutives (processus de compilation, Anderson, 1982). Enfin, la phase autonome est atteinte lorsque les individus ne consultent plus les instructions puisque les connaissances acquises sont directement récupérées en mémoire à long terme (MLT).

2. METHODE

2.1. Participants

L'expérience s'est déroulée au Centre Européen de Réalité Virtuelle (CERV), situé à Plouzané. Soixante-trois individus (18 femmes) ont participé à l'expérience (âge $M \simeq 24$, *min* = 19, *max* = 32). Tous étaient titulaires d'un baccalauréat et avaient poursuivi leurs études dans des spécialisations

différentes. Plusieurs variables ont été mesurées comme l'utilisation antérieure des casques de RV ou encore la pratique des casse-têtes et la connaissance du cube de Soma. Préalablement à la réalisation de l'expérience et conformément aux principes éthiques, les participants ont été informés qu'ils pouvaient se retirer de l'étude à tout moment, que leur anonymat était préservé et qu'il existe des risques secondaires potentiels de la RV, puis, ils ont signé un formulaire de consentement éclairé.

2.2. Tâche et Environnement Virtuel d'Apprentissage Humain

La tâche consistait à apprendre une procédure d'assemblage d'un puzzle 3D monochrome couleur bois, le cube de Soma, comprenant sept pièces de formes différentes. Une modélisation des pièces du cube était présente au sein de l'EVAH développé (Figure 15). Des instructions graphiques étaient disponibles sur un panneau divisé en plusieurs cases correspondant chacune à une étape de la procédure. Une instruction était donc l'équivalent d'une action avec une pièce du cube. Afin de consulter une instruction, le participant devait passer la manette sur la case souhaitée pour rendre visible le schéma de montage. Ce schéma de montage comprenait l'ensemble des pièces placées précédemment en gris transparent et la pièce à prendre et à positionner couleur bois. L'EVAH comprenait également un interrupteur essentiel à l'enregistrement automatique des données comportementales puisqu'en allumant la lumière de l'atelier virtuel un chronomètre était déclenché. Une grille d'assemblage marquait l'emplacement de construction du cube.

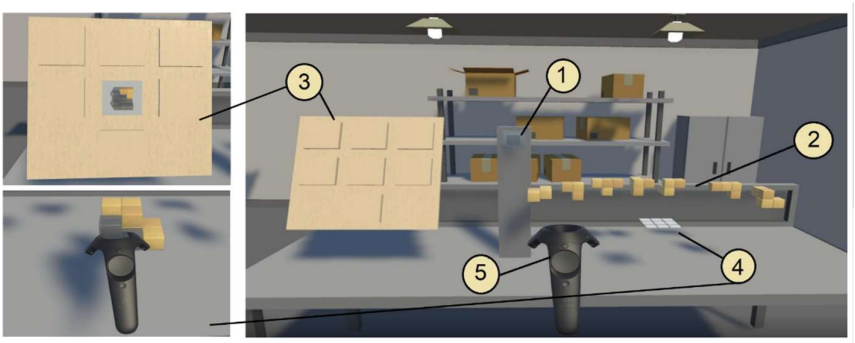


Figure 15 : Vue de l'EVAH. (1) Interrupteur. (2) Les sept pièces du cube de Soma. (3) Panneau d'instructions. (4) Grille d'assemblage. (5) Représentation virtuelle de la manette.

2.3. Matériel et Données recueillies

Un casque de RV, HTC VIVE Pro Eye, a été utilisé afin d'immerger les participants dans l'EVAH et un contrôleur Vive leur permettaient d'interagir. Ce contrôleur était représenté au sein de l'EVAH (Figure 15). Un ordinateur portable avec les logiciels LimeSurvey et Tholos (Cegarra & Chevalier, 2008) permettait d'afficher différents questionnaires : questionnaire sociodémographique, *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) (Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993), et NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988). Une grille d'observation, version papier, a également été utilisée lors de l'expérience.

Des mesures comportementales ont été enregistrées de façon automatique par l'EVAH. Elles correspondaient au temps de manipulation des pièces du cube (TM), au temps de consultation des instructions (TC), au temps d'inactivité ou de latence (TL), au temps de réalisation de la tâche (TRT, i.e., somme des TM, TC et TL), au nombre de manipulations des pièces, au nombre de consultations des instructions et au nombre d'erreurs (i.e., une action qui ne correspond pas à l'instruction en cours en terme de pièce et/ou de position attendue). Ces mesures étaient complétées par une mesure subjective de la charge de travail obtenue via l'échelle NASA-TLX.

2.4. Procédure

L'expérience a duré au total environ 1h30 pour chaque participant et était divisée en deux sessions individuelles espacées d'une semaine (plus ou moins un jour). Chaque session se terminait lorsque le participant atteignait un critère d'arrêt défini au préalable (ou un temps de passation supérieur à 1h00) afin d'amener chaque participant à un niveau de performance similaire. Le critère était de réaliser trois fois de façon successive la procédure d'assemblage sans erreurs et sans consultations d'instructions.

La première session, d'une durée d'environ 1h00, était subdivisée en cinq phases : (i) le briefing : les participants remplissaient un formulaire de consentement, un questionnaire sociodémographique et le *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ). (ii) La démonstration : une présentation de l'EVAH, de la tâche et des interactions par l'expérimentatrice via des consignes formelles. (iii) La familiarisation avec le matériel via une procédure conçue à cet effet lors de deux essais successifs dans l'EVAH. (iv) L'apprentissage : le participant équipé du casque de RV, devait exécuter plusieurs fois la procédure d'assemblage du cube de Soma jusqu'à l'atteinte du critère d'arrêt. Entre chaque essai, le participant enlevait le casque de RV et remplissait le questionnaire NASA-TLX. (v) Le débriefing : le participant répondait au questionnaire SSQ puis discutait avec l'expérimentatrice.

La deuxième session, élaborée afin de vérifier l'acquisition de la procédure, était réalisée après un délai d'une semaine et durait environ 30 minutes. Elle comportait également une phase de briefing et de débriefing, puis une phase d'évaluation similaire à la phase d'apprentissage de la session 1.

3. RESULTATS

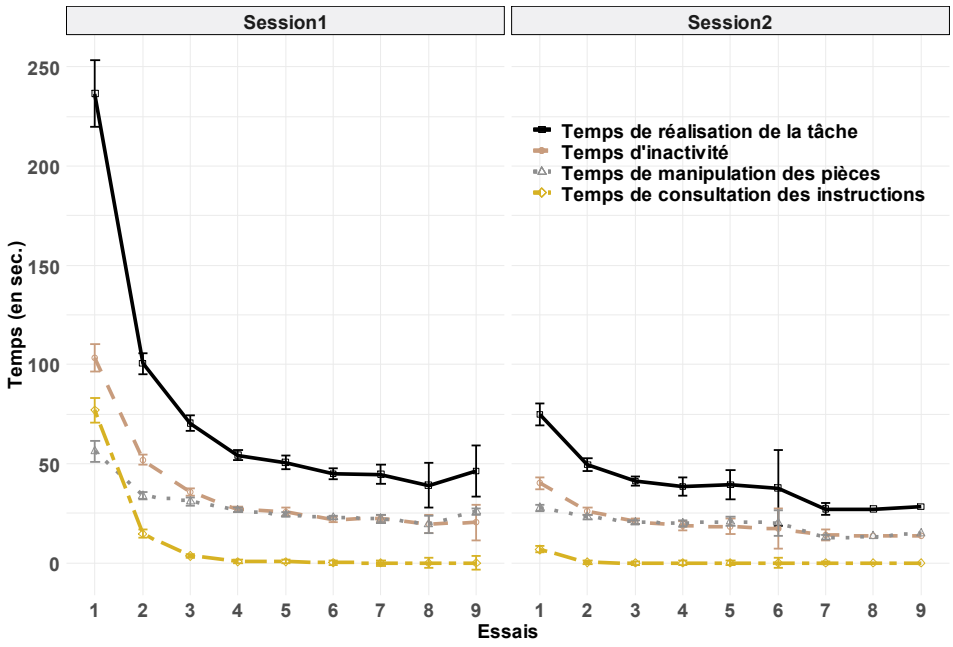
Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R avec les packages « lmerTest », « multcomp » (Bretz, Hothorn & Westfall, 2016; Kunzetsova, Brockhoff & Christensen, 2017) ainsi que « Kendall » et « cocor » (Hipel & McLeod, 1994; Steiger, 1980). La méthode d'approximation de Satterthwaite a été utilisée pour le calcul des degrés de liberté du dénominateur ainsi que de la statistique F. Si nécessaire, des tests post-hoc par paire (avec ajustement de Bonferroni) ont été effectués, seules les différences significatives ($p < .05$) sont discutées. Trois individus aux données extrêmes en termes de nombre d'essais en session 1 ont été exclus des analyses.

3.1. Evaluation de l'apprentissage procédural

Les participants réalisent en moyenne 6 essais lors de la session 1 pour atteindre le critère d'arrêt (*SD* = 1.32, *min* = 4, *max* = 9) et 4 essais en moyenne lors de la session 2 avant d'atteindre ce critère (*SD* = 1.20, *min* = 3, *max* = 9). Les mesures chronométriques liées à la réalisation de la tâche présentent l'allure classique d'une courbe d'apprentissage (Figure). Concernant la Figure , l'essai 9 de la session 1 ne correspond pas au dernier essai de l'ensemble des participants puisque la session s'arrête lors de l'atteinte d'un critère d'arrêt.

Le modèle linéaire mixte confirme l'effet du nombre d'essais sur les variations des mesures comportementales chronométriques : pour le temps total de réalisation de la tâche : F (18,633.42) = 51.03, $p < .001$, $\eta^2_p = .59$, pour le temps d'inactivité : F (18,632.02) = 45.57, $p < .001$, $\eta^2_p = .56$, pour le temps de manipulation des pièces : F (18,630.95) = 15.96, $p < .001$, $\eta^2_p = .31$ et pour le temps de consultation des instructions : F (18,641.64) = 60.74, $p < .001$, $\eta^2_p = .63$. Les tests post-hoc montrent que les participants réalisent plus rapidement la tâche, avec un temps d'inactivité, de manipulation des pièces et de consultation des instructions moindre entre les essais 1 et 2 de la session 1 ($p < .001$). L'analyse montre également une différence significative entre l'essai 2 et l'essai 3 pour le temps d'inactivité ($p < .01$). Les tests post-hoc ne révèlent pas de différences significatives entre le dernier essai des participants en session 1 et leur premier essai lors de la session 2 sauf pour le temps de réalisation de la tâche ($p < .05$) avec une augmentation moyenne de 35 secondes et le temps

d'inactivité ($p < .001$) avec une augmentation de 20 secondes en moyenne lors de la nouvelle exécution après le délai d'une semaine.



<u>Figure 2 :</u> Mesures comportementales chronométriques moyennes pour les essais des deux sessions (en sec.) avec les barres d'erreurs correspondant à l'erreur standard de la moyenne calculée pour les modèles intra-participants (Cousineau, 2005).

Les mesures comportementales non chronométriques liées à l'exécution de la procédure diminuent également au fur et à mesure des répétitions de la tâche. Le modèle linéaire mixte confirme l'effet du nombre d'essais sur les variations des mesures non chronométriques : pour le nombre de manipulations des pièces : F (18,630.21) = 15.05, $p < .001$, $\eta^2_p = .30$, pour le nombre de consultations des instructions : F (18,641.2) = 65.51, $p < .001$, $\eta^2_p = .65$, et pour le nombre d'erreurs : F (18,642.62) = 14.96, $p < .001$, $\eta^2_p = .30$. Les tests post-hoc montrent qu'entre les essais 1 et 2 de la session 1, les participants réalisent la procédure avec moins de consultations d'instructions (essai 1 : $M = 41.48$, $SD = 26.33$; essai 2 : $M = 11.47$, $SD = 11.32$), une manipulation des pièces plus précise (essai 1 : $M = 31.42$, $SD = 19.17$; essai 2 : $M = 22.03$, $SD = 10.71$) et commettent moins d'erreurs (essai 1 : $M = 11.18$, $SD = 14.24$; essai 2 : $M = 3.60$, $SD = 6.43$) ($p < .001$). Les analyses révèlent également une diminution du nombre de consultations entre l'essai 2 et l'essai 3 (Essai 3 : $M = 3.07$, $SD = 5.17$) ($p < .001$). Toutefois, il y a une augmentation du nombre de consultations des instructions entre le dernier essai de la session 1 et le premier essai de la session 2 ($p < .05$). En effet, lors du dernier essai de la session de formation les participants ne consultaient pas les instructions alors qu'après un délai d'une semaine, ils consultaient en moyenne 6 fois les instructions ($SD = 10.4$). Ce nombre de consultations diminuent ensuite dès la deuxième exécution en session 2 ($p < .08$) atteignant une moyenne de 0.42 ($SD = 1.28$). Les différences observées entre le dernier essai de la session 1 et le premier essai de la session 2 peuvent être le reflet de difficultés rencontrées lors d'une exécution de la procédure après un délai de plusieurs jours d'interruptions telles que des doutes, de l'oubli (Ganier et al., 2013). Il est également possible que les connaissances ne soient pas stabilisées en MLT. Les analyses de la session 2 montrent que l'ensemble des indicateurs comportementaux sont proches des résultats obtenus à la fin de la session 1. Ceci suggère que les connaissances de la procédure ont été stockées en mémoire à long terme (Ganier et al., 2013). Ces résultats confirment H1 puisqu'une amélioration puis une stabilisation

des performances sont observées avec la pratique en session 1. Toutefois, il semble que la procédure ne soit pas suffisamment intégrée en MLT pour permettre aux individus d'exécuter la procédure sans consulter les instructions après un délai d'une semaine, ne confirmant H3 que partiellement.

Un score de charge de travail mental multidimensionnel a été calculé sans prendre en compte le critère d'exigence physique. Les scores obtenus à l'échelle du NASA-TLX évoluent au fur et à mesure de la pratique. Le modèle linéaire mixte confirme l'effet du nombre d'essais sur le score de charge de travail mental calculé : F (18,625.07) = 26.77, $p < .001$, $\eta^2_p = .44$. Les tests post-hoc montrent qu'au fil des répétitions de l'exécution de la procédure, l'indice de charge de travail mental évolue entre certains essais successifs. Les analyses montrent une diminution significative entre l'essai 1 (M = 41.80, SD = 17.41) et l'essai 2 (M = 34.34, SD = 16.72) ($p < .01$) et entre l'essai 2 et l'essai 3 (M = 27.67, SD = 17.12) ($p < .05$) puis une absence de fluctuations (i.e., un plateau). Toutefois, lors de la première exécution après un délai d'une semaine, le score de charge de travail mental est plus élevé (M = 26.4, SD = 18.9) par rapport au dernier essai de la session 1 (M = 15.9, SD = 13.6) ($p < .001$). Ces résultats confirment H2 et partiellement H3. En effet, le niveau de charge de travail mental ressenti est élevé au début de l'apprentissage puis diminue jusqu'à aboutir à une absence de variations en session 1. De manière similaire aux mesures comportementales, il y a une augmentation après une semaine pour la charge de travail mental estimée, ce qui pourrait être interprété comme une trace du coût cognitif de récupération de la procédure en MLT (Ganier et al., 2013). Ce résultat suggère que certaines étapes de la procédure aient pu être oubliées nécessitant la consultation des instructions lors de la première exécution en session 2.

3.2. Approche comportementale de distinction des phases d'apprentissage

L'ensemble des résultats concernant les indicateurs comportementaux chronométriques indique que les participants améliorent leurs performances grâce à la pratique de la procédure et montre qu'une récupération de la procédure en MLT est possible suite à une interruption d'une semaine malgré quelques difficultés lors de la première exécution. Ces indicateurs temporels prennent donc l'allure d'une courbe d'apprentissage mais les caractéristiques de celle-ci ne permettent pas un repérage précis des trois phases d'apprentissage. Ganier et al. (2013) proposent de s'appuyer sur le nombre de consultations des instructions, un indicateur comportemental non chronométrique afin d'identifier les trois phases d'apprentissage (Anderson, 1982). Une catégorisation de l'activité des apprenants dans ces trois phases est donc effectuée sur les essais de la session 1 à partir des travaux de Ganier et al. (2013).

La procédure du cube de Soma est constituée de sept instructions. Toutefois, la dernière instruction étant relativement intuitive puisqu'il reste une pièce et un seul endroit disponible dans le cube, elle présente une moindre utilité dans la réalisation de la tâche. Ainsi, nous considérons une procédure à six instructions pour effectuer le découpage de l'activité des apprenants. La phase cognitive se caractériserait par un nombre de consultations des instructions égal ou supérieur au nombre d'instructions utiles (i.e., six). Au cours de la phase associative, le nombre de consultations des instructions devrait être strictement supérieur à zéro et inférieur à six. Enfin, la phase autonome est définie par une absence de consultations des instructions (Ganier et al., 2013). L'atteinte de chacune de ces phases, c'est-à-dire le nombre d'essais nécessaire pour passer d'une phase à l'autre, serait variable selon les individus (Ganier et al., 2013). Le Tableau 4 montre une identification de la progression de chaque apprenant au sein des trois phases. Tous n'ayant pas effectué le même nombre d'essais, c'est le pourcentage d'apprenants qui est calculé et présenté dans le Tableau 4 (ci-après).

Au premier essai, tous les participants se situent dans la phase cognitive. Ensuite, 22% d'entre eux passent en phase associative dès le deuxième essai tandis que 11% d'entre eux sont en phase autonome. Ce passage directement de la phase cognitive à la phase autonome pourrait s'expliquer par un manque de précision de l'indicateur pour rendre compte de l'ensemble du processus

d'apprentissage (H4 partiellement confirmée). Le Tableau 4 montre également que la moitié des participants atteignent la phase autonome lors du troisième essai tandis que 22% des apprenants sont encore en phase cognitive. Cette variabilité interindividuelle de progression pourrait être expliquée par différents facteurs tels que la capacité de la mémoire de travail.

Tableau 4 : Répartition des apprenants dans les trois phases d'apprentissage décrites par Anderson (1982) en prenant en compte le nombre de consultations des instructions.

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nombre de participants	60	60	60	60	58	46	26	12	7
Pourcentage d'apprenants dans la phase cognitive	100%	67%	22%	7%	3%	2%	-	-	-
Pourcentage d'apprenants dans la phase associative	-	22%	28%	12%	3%	2%	-	-	-
Pourcentage d'apprenants dans la phase autonome	-	11%	50%	81%	94%	96%	100%	100%	100%

3.3. Caractérisation des phases d'apprentissage par les niveaux d'exigence mentale et de performance ressentis

D'après Ganier et al. (2013), le coût cognitif associé à la phase cognitive peut se traduire par un niveau d'exigence mentale élevé et un niveau de performance estimé comme faible. Lors de la phase associative, la mesure subjective du niveau d'exigence mentale diminue alors que le niveau de performance ressenti augmente progressivement. Enfin, la phase autonome se caractérise par un niveau d'exigence mentale estimé comme faible tandis que le niveau de performance est élevé. Une présentation des scores moyens de ces deux critères de l'échelle NASA-TLX et du temps de réalisation moyen caractérisant les phases d'apprentissage distinguées précédemment est donnée Tableau 5. Les scores d'exigence mentale et de performance semblent suivre l'évolution évoquée par Ganier et al. (2013) lors des phases d'apprentissage (puisque dans NASA-TLX l'échelle du critère de performance est inversée : plus le score de performance est élevé plus l'apprenant juge son niveau comme faible).

Tableau 5 : Caractérisation des phases d'apprentissage procédural (présentation des moyennes avec écarts-types donnés entre parenthèses).

Mesures	Temps de réalisation de la tâche	Score d'exigence mentale	Score de performance
Phase cognitive	177.08 (*128.96*)	50.72 (*25.44*)	39.47 (*26.55*)
Phase associative	70.07 (*30.45*)	28.10 (*22.80*)	24.48 (*22.51*)
Phase autonome	46.36 (*19.56*)	19.61 (*19.95*)	13.76 (*18.69*)

Les corrélations de Kendall entre ces deux critères NASA-TLX et le temps de réalisation des apprenants par phases d'apprentissage sont analysées. Le temps de réalisation de la tâche présente une corrélation statistiquement significative avec le score d'exigence mentale pour la phase cognitive ($\tau = 0.37$, $p < .001$) et la phase autonome ($\tau = 0.16$, $p < .001$). Le test de Steiger révèle une différence significative entre ces corrélations ($z = 2.30$, $p < .05$) indiquant une corrélation plus forte en phase cognitive. Les corrélations entre le temps de réalisation de la tâche et le score de performance sont significatives pour toutes les phases (phase cognitive : $\tau = 0.28$, $p < .001$; phase associative : $\tau = 0.27$, $p < .05$; phase autonome : $\tau = 0.19$, $p < .001$). Les tests de Steiger ne révèlent pas de différences significatives entre ces corrélations. Les scores de performance sont donc liés aux temps de réalisation de la tâche obtenus dans chacune des phases d'apprentissage procédural.

4. DISCUSSION

Les résultats montrent qu'une pratique répétée de la tâche en EVAH induit de meilleures performances. La charge de travail mental diminue également au fil des répétitions suivant des profils de résultats similaires à l'évolution comportementale.

Après avoir constaté qu'il y avait bien eu un apprentissage de la procédure en EVAH par la progression puis la stabilisation des performances avec la pratique, l'objectif était d'examiner la méthode d'identification des phases d'apprentissage procédural proposée par Ganier et al. (2013). Les résultats montrent que l'approche mériterait d'être affinée puisque certains apprenants ne passeraient pas par une phase associative. Par ailleurs, les hypothèses de découpage des phases peuvent être précisées afin de ne pas permettre la catégorisation d'un individu dans une phase précédente une fois celui-ci identifié comme ayant passé cette phase. Cette approche présente toutefois l'avantage de pouvoir suivre en temps réel l'évolution des apprenants par phases lors d'une formation en EVAH. En effet, ces environnements de formation recueillent automatiquement les données comportementales, ce qui permet une analyse en temps réel de la progression des apprenants. Cette perspective de suivi individuel pourrait notamment permettre d'envisager des adaptations personnalisées selon la phase d'apprentissage atteinte en fournissant par exemple des guidages ou des aides supplémentaires. Un environnement d'apprentissage adaptatif à l'apprenant permettrait également de réduire le coût cognitif induit par l'acquisition d'une nouvelle procédure. Toutefois, la proposition basée sur le nombre de consultations des instructions doit être complétée pour un meilleur suivi de la progression des apprenants car un seul indicateur comportemental peut ne pas refléter l'ensemble du processus d'apprentissage (e.g. changement de stratégies d'apprentissage). De futurs travaux sont envisagés afin de trouver une combinaison d'indicateurs comportementaux pertinents dans la reconnaissance des phases d'apprentissage avec par exemple l'ajout du nombre d'actions (Hubert et al., 2007). Il s'agirait donc par la suite de développer et d'évaluer un modèle de reconnaissance en temps réel des phases de l'apprentissage procédural.

5. REMERCIEMENTS ET FINANCEMENTS

Ce travail a été soutenu par un financement du gouvernement français géré par l'ANR, numéro de subvention ANR-21- ESRE-0030 (CONTINUUM) et également grâce au soutien de Brest Métropole.

6. BIBLIOGRAPHIE

Anderson, D. I., Lohse, K. R., Lopes, T. C. V., & Williams, A. M. (2021). Individual differences in motor skill learning : Past, present and future. *Human Movement Science*, *78*. https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102818

Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological review*, *89*(4), 369-406.

Bretz, F., Hothorn, T., & Westfall, P. (2016). *Multiple comparisons using R*. Londres: Chapman and Hall/CRC.

Cegarra, J., & Chevalier, A. (2008). The use of Tholos software for combining measures of mental workload : Toward theoretical and methodological improvements. *Behavior Research Methods*, *40*(4), 988-1000.

Corbett, A. T., & Anderson, J. R. (1994). Knowledge tracing : Modeling the acquisition of procedural knowledge. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, *4*, 253-278. https://doi.org/10.1007/BF01099821

Cousineau, D. (2005). Confidence intervals in within-subject designs : A simpler solution to Loftus and Masson's method. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, *1*(1), 42-45.

Deeva, G., Bogdanova, D., Serral, E., Snoeck, M., & De Weerdt, J. (2021). A review of automated feedback systems for learners : Classification framework, challenges and opportunities. *Computers & Education*, *162*. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104094

Ganier, F., Hoareau, C., & Devillers, F. (2013). Évaluation des performances et de la charge de travail induits par l'apprentissage de procédures de maintenance en environnement virtuel. *Le travail humain*, *76*(4), 335-363. https://doi.org/10.3917/th.764.0335

Ganier, F., Hoareau, C., & Tisseau, J. (2014). Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation : A case study on tank maintenance training. *Ergonomics*, *57*(6), 828-843. https://doi.org/10.1080/00140139.2014.899628

Hart, S., & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, *52*, 139-183. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Heurley, L., & Ganier, F. (2006). L'utilisation des textes procéduraux : Lecture, compréhension et exécution d'instructions écrites. *Intellectica*, *44*(2), 45-62. https://doi.org/10.3406/intel.2006.1291

Hipel, K. W., & McLeod, A. I. (1994). *Time series modelling of water resources and environmental systems*. Amsterdam: Elsevier.

Hubert, V., Beaunieux, H., Chételat, G., Platel, H., Landeau, B., Danion, J.-M., Viader, F., Desgranges, B., & Francis Eustache. (2007). The dynamic network subserving the three phases of cognitive procedural learning. *Human Brain Mapping*, *28*(12), 1415-1429. https://doi.org/10.1002/hbm.20354

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire : An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, *3*(3), 203-220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3

Kunzetsova, A., Brockhoff, P., & Christensen, R. (2017). lmerTest package : Tests in linear mixed effect models. *J. Stat. Softw*, *82*, 1-26.

Steiger, J. H. (1980). Tests for comparing elements of a correlation matrix. *Psychological bulletin*, *87*(2), 245-251.

Taylor, J. A., & Ivry, R. B. (2012). The role of strategies in motor learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1251*(1), 1-12. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06430.x

Tenison, C., & Anderson, J. R. (2016). Modeling the distinct phases of skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(5), 749-767. https://doi.org/10.1037/xlm0000204

Tenison, C., Fincham, J. M., & Anderson, J. R. (2016). Phases of learning : How skill acquisition impacts cognitive processing. *Cognitive psychology*, *87*, 1-28.

3 Communications Longues (= CL) et

1 Communication Courte (= CC)

CL : *Conduire parmi des véhicules autonomes : effet de la confiance initiale sur le comportement de conduite.*

Julien CEGARRA

Laboratoire Sciences de la Cognition, Technologie, Ergonomie (SCoTE EA 7420), Université de Toulouse, INU Champollion, Albi, France. julien.cegarra@univ-jfc.fr

Hélène UNREIN

Bordeaux university, BdxINP-ENSC, IMS IUMR CNRS 5218. helene.unrein@ensc.fr

Jean-Marc ANDRE

Bordeaux university, BdxINP-ENSC, IMS IUMR CNRS 5218. jean-marc.andre@ensc.fr

& Jordan NAVARRO

Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EA 3082), Université Lyon 2, Lyon, France

jordan.navarro@univ-lyon2.fr

RÉSUMÉ

Plusieurs études rétrospectives se sont intéressées à la nature des accidents impliquant des véhicules autonomes. Elles montrent que ces accidents résultent généralement des conducteurs de véhicules conventionnels qui suivent de trop près et/ou à une vitesse excessive le véhicule autonome. Cette communication présente les résultats d'une étude préliminaire visant à étudier le rôle de la confiance envers les véhicules autonomes sur les comportements de conduite de véhicules conventionnels. 95 participants ont été confrontés à des séries de clips vidéo de conduite autonome pouvant favoriser ou diminuer la confiance. Nous avons ensuite évalué les comportements de conduite en présence de véhicules autonomes à l'aide d'une version modifiée du *Driving Behavior Questionnaire* (DBQ). Les résultats montrent que le groupe ayant une confiance augmentée envers les véhicules autonomes présente une plus grande tolérance à deux types de comportements dangereux (transgressions ordinaires et émotionnelles). Les résultats sont discutés en soulignant les liens entre transgressions déclarées et accidentologie.

MOTS-CLÉS

Véhicules autonomes, confiance, comportements de conduite, infractions, intelligence artificielle.

1. INTRODUCTION

Dixit, Chand et Jair (2016) ont mené une analyse rétrospective des accidents de véhicules autonomes (VA) sur la base de données du *Department of Motor Vehicles* (DMV) de Californie de septembre 2014 à novembre 2015. Sur les 12 accidents rapportés par les constructeurs, les VA n'étaient en faute que dans un seul cas. Pour les 11 autres accidents, les auteurs précisent : « la cause sous-jacente pourrait être attribuée au conducteur de l'autre véhicule qui s'attendait à ce que le véhicule autonome se comporte différemment de ce qu'il aurait normalement attendu » (p.8). Petrović, Mijailović et Pešić (2020) ont également analysé les accidents de la circulation impliquant des VA de janvier 2015 à janvier 2017 à partir de la base de données du *Transportation Injury Mapping System* (TIMS, 2019). Ils notent que les VA sont sujets à 64,2% plus de collisions arrière que les véhicules conventionnels (VC). Dans ces études, l'une des principales raisons est liée au fait que les conducteurs de véhicules conventionnels sont inexpérimentés dans le fonctionnement des VA, et suivent donc de trop près et/ou à une vitesse dangereuse.

Ces accidents - des conducteurs de VC envers les VA – apparaissent donc liés à un phénomène plus général de mauvaise calibration de la confiance. Il a, par ailleurs, été noté l'existence d'une confiance excessive envers des systèmes qu'ils soient familiers ou non (voir Hoff et Bachir, 2015). Par conséquent, guider l'utilisateur vers des niveaux de confiance appropriés semble crucial pour prévenir les accidents (Hoff & Bachir, 2015 ; Lee & See, 2004). Pourtant, les études sur le comportement des conducteurs de VC en présence de VA apparaissent comme un chaînon manquant dans l'état actuel de la recherche. Dans cette communication, nous présentons une étude préliminaire où la confiance dans les VA est manipulée afin de mieux comprendre la manière dont nous pourrions conduire des véhicules conventionnels en présence de VA.

Après une analyse approfondie de la littérature, Lee et See (2004) ont proposé de définir la confiance au travers de la définition de Mayer, Davis et Schoorman (1995) comme la « disposition d'une entité à être vulnérable aux actions d'une autre entité dans l'attente d'une action particulière importante pour la première entité, indépendamment de la capacité à surveiller ou contrôler cette seconde entité » (p.54). Les interactions de l'utilisateur avec le système fournissant continuellement des informations sur la fiabilité ou la performance du système. Cette boucle de rétroaction apparaît comme un aspect important du calibrage de la confiance (Lee & See, 2004). Cependant, il existe des situations qui nécessitent d'interagir avec des systèmes non familiers pour lesquels l'expérience antérieure n'est pas encore disponible. D'autres sources d'attentes peuvent alors être mobilisées, comme des analogies avec des systèmes similaires, des conseils d'utilisateurs, le marketing de produits, etc. Hoff et Bachir (2015) ont également souligné le rôle de la réputation du système ou des attitudes préexistantes envers la technologie.

Alors que les analyses de bases de données montrent que les conducteurs de véhicules conventionnels ont tendance à suivre les VA de trop près ou à une vitesse dangereuse (Favarò, Eurich & Nader, 2018 ; Petrović, Mijailović, & Pešić, 2020), il peut exister de nombreux autres comportements aberrants, tels que des passagers réduisant le port de la ceinture de sécurité en raison d'une confiance excessive dans la sécurité des VA (Litman, 2022). De telles diversités comportementales soulignent la nécessité de distinguer les catégories de comportements aberrants les plus influencés par une forte confiance envers les VA. Reason et al. (1990) ont proposé de considérer les comportements aberrants au volant en fonction de leur source psychologique. Plus précisément, dans le cadre du *Driver Behavior Questionnaire* (DBQ) ils distinguent trois principaux comportements de conduite aberrants :

(1) Les erreurs *(errors)* qui ne présentant aucune menace immédiate pour les autres usagers de la route (par exemple, sortir de la mauvaise route dans un rond-point).

(2) Les manquements *(lapses)* qui consistent à mal juger ou à ne pas détecter des événements qui pourraient avoir des conséquences négatives (par exemple, ne pas remarquer un passage piétons).

(3) Les transgressions (*violations*) impliquant une action délibérée (par exemple, ne pas respecter les limitations de vitesse la nuit).

D'autres auteurs ont également noté l'importance de séparer les transgressions ordinaires commises pour des raisons pratiques (comme le gain de temps) des transgressions "émotionnelles" qui sont plus hostiles envers un autre conducteur. Cette dernière ayant une composante émotionnelle comme le fait de klaxonner pour indiquer son agacement (Guého, Granié & Abric, 2014). Dans cette étude nous posons l'hypothèse que le groupe ayant une confiance augmentée envers les VA déclarera plus de transgressions ordinaires que le groupe ayant une confiance réduite envers les VA.

Il est à noter que les transgressions déclarées au travers du DBQ sont également de bons prédicteurs des futurs accidents de la route (de Winter & Dodou, 2010).

2. METHODE

Körber, Baseler et Bengler (2018) ont apporté une contribution cruciale à la conception d'études empiriques impliquant la manipulation de la confiance initiale envers les VA. Ils ont testé comment de légers changements dans les informations données aux participants (par exemple au travers d'une vidéo ou d'un texte d'introduction) affectent la confiance initiale et le comportement de conduite. Par exemple, alors que tous les participants ont regardé une vidéo sur les VA, la vidéo du groupe ayant bénéficié d'une promotion de la confiance a été amputée d'une courte partie concernant la nécessité de prendre le contrôle pour sortir d'une autoroute ; partie qui a été conservée pour le groupe ayant bénéficié d'une promotion de la confiance. Même des changements aussi minimes entraînent ensuite des différences dans les comportements de conduite. Plus précisément, leurs résultats montrent que le groupe dont la confiance a été augmentée a réagi plus lentement à des défaillances des VA par rapport au groupe dont la confiance a été diminuée. Ainsi, une confiance augmentée a produit des comportements plus dangereux.

Notre protocole s'inspire du protocole de Körber, Baseler et Bengler (2018). Plus précisément, il est organisé autour de plusieurs questionnaires et de deux versions d'une même vidéo : la moitié des participants a reçu une version de la vidéo favorisant la confiance (groupe confiance augmentée), l'autre moitié une version diminuant la confiance (groupe confiance diminuée). Pour chaque participant, le déroulement de l'étude complète n'a pas duré plus de vingt minutes. Sur l'ensemble des répondants, ceux n'ayant pas de permis de conduire ou ceux n'ayant pas entièrement rempli le questionnaire ont été retirés. Deux participants dont les réponses étaient aberrantes ont également été retirés, ce qui a conduit à 95 réponses prises en compte pour l'analyse (48 pour le groupe de confiance augmentée, 47 pour le groupe de confiance diminuée). L'échantillon se composait de 53 femmes et 42 hommes ; 41 répondants ont obtenu leur permis de conduire il y a moins de cinq ans et 54 il y a au moins cinq ans. Les répondants appartenaient à des groupes d'âge différents : 44 avaient entre 18 et 25 ans, 14 entre 26 et 35 ans, 16 entre 36 et 50 ans et 21 avaient plus de 50 ans.

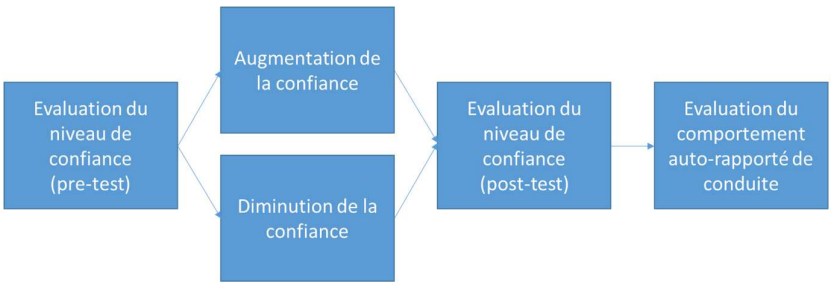


Figure 1 : Les quatre étapes du recueil de données. La manipulation de la confiance diffère selon le groupe de participants.

Le questionnaire débutait par une présentation du programme de recherche, des droits des participants et de la protection des données. Les participants devaient ensuite passer par différentes étapes :

- La première étape est une évaluation du niveau de confiance dans la conduite automatisée (Manchon, Bueno, & Navarro, 2021) par une échelle d'évaluation en 10 points (9 échelles de Likert et 1 évaluation globale de la confiance).
- La manipulation de la confiance se fait par présentation successives de cinq courts clips vidéo d'accidents entre deux véhicules. Chacun était introduit par un message d'une seule phrase. Dans le groupe de confiance, le message était le suivant : "Vous allez regarder une vidéo dans laquelle un véhicule autonome évite un accident envers un véhicule conventionnel". Dans le groupe bénéficiant de la confiance, le message était inversé et consistait en : "Vous allez voir une vidéo

dans laquelle un véhicule conventionnel évite un accident envers un véhicule autonome". De cette façon, les mêmes clips ont été présentés aux deux groupes et seul le message différait, ce qui a conduit les participants à attribuer le comportement dangereux soit au véhicule autonome, soit au véhicule conventionnel. La durée totale de tous les clips et messages était inférieure à 2 minutes.

- La troisième étape est une seconde évaluation du niveau de confiance dans la conduite automatisée utilisant la même échelle que la première. Elle permet de valider la manipulation de la confiance.
- La dernière étape est une évaluation du comportement auto-rapporté de conduite (DBQ, Reason et al., 1990) par la version à 44 items du DBQ. Un point important à souligner concerne les instructions : les participants répondaient en considérant qu'ils conduisaient un véhicule conventionnel dans un trafic routier où tous les autres véhicules sont autonomes. Les items étaient répartis en quatre catégories ("erreurs", "manquements", "transgressions ordinaires", "transgressions émotionnelles") comme dans Martinussen et al. (2013).

3. RESULTATS

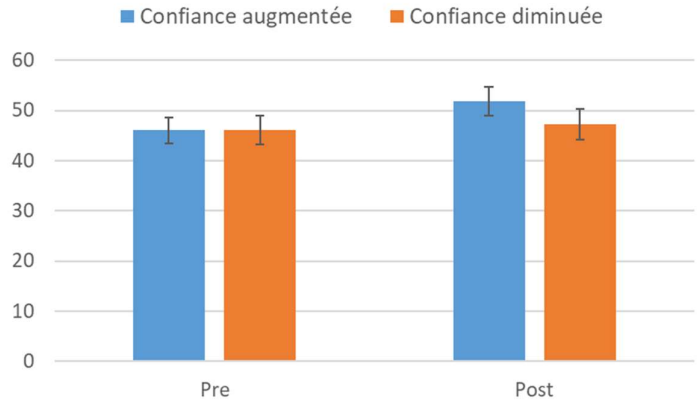
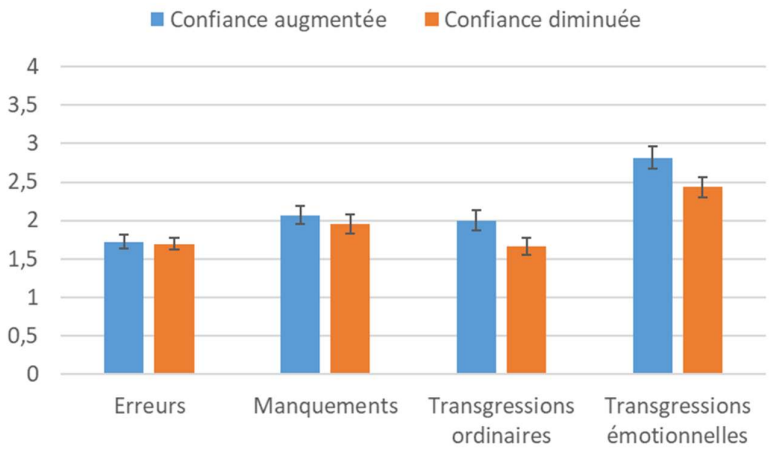


Figure 2 : Niveau de confiance dans les véhicules automatisés avant et après le visionnage de la vidéo selon le groupe de manipulation de la confiance.

Une analyse de variance à mesures répétées a été effectuée sur le niveau moyen de confiance, elle indique une différence entre la passation avant et après le visionnage de la vidéo ($F(1, 559) = 14,78$; $\eta^2p = .137$; $p < .001$). L'interaction avec le groupe de manipulation de la confiance est également significative ($F(1, 266)=7,04$; $\eta^2p= .070$; $p < .05$).

Un test bilatéral de *student* montre également une augmentation de la confiance pour le groupe de confiance augmentée ($t(47) = 5,15$; $p < .001$; $d = -.74$). Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les niveaux de confiance pour le groupe confiance diminuée ($t(46)=-.766$; n.s.). Dans l'ensemble, ces résultats montrent une différence de niveaux de confiance après visionnage entre les deux groupes et effectivement une augmentation de confiance lorsque la vidéo devait l'augmenter. Cet aspect est important pour souligner la manipulation effective de la confiance dans les VA.



<u>Figure 3 :</u> Scores moyens au *Driver Behavior Questionnaire* selon la catégorie de comportement aberrant et le type de manipulation de la confiance.

Concernant les scores moyens au DBQ, la comparaison entre les groupes de confiance a été effectuée par un test *t* unilatéral planifié de Student pour échantillons indépendants. Les 48 participants du groupe ayant bénéficié d'une augmentation de la confiance (M = 1,73, ET = 0,095) et les 47 participants du groupe ayant une diminution de la confiance (M = 1,7, ET = 0,079) ne présentent aucune différence significative dans les *erreurs* signalées ($t(93) = 0,236$; n.s.). Le groupe ayant bénéficié d'une augmentation de la confiance (M = 2,07, ET = 0,121) et le groupe ayant bénéficié d'une diminution de la confiance (M = 1,95, ET = 0,123) ne présentent pas non plus de différence significative dans leur score de *manquement* ($t(93) = 0,67$; n.s.).

Les participants du groupe ayant bénéficié d'une augmentation de la confiance ont obtenu un score moyen de transgression ordinaire de 2,00 (ET = 0,133) et ont déclaré significativement plus de *transgressions ordinaires* ($t(93) = 1,91$; $p = 0,029$; $d = 0,392$) que les participants du groupe ayant bénéficié d'une baisse de confiance, qui ont obtenu un score de 1,67 (ET = 0,111). Cette différence apparaît également pour la *transgression émotionnelle* où le groupe ayant bénéficié d'une promotion de la confiance a obtenu un score moyen de 2,82 (ET = 0,141) alors que le groupe ayant bénéficié d'une baisse de confiance a obtenu un score moyen de 2,44 (ET = 0,130), cette différence étant statistiquement significative ($t(93) = 1,97$; $p = 0,026$; $d = 0,404$).

Ainsi, conformément à notre hypothèse, l'augmentation de confiance dans les VA entraine un plus grand nombre de déclarations de comportements dangereux, principalement des transgressions ordinaires et émotionnelles.

4. DISCUSSION

Les analyses rétrospectives des accidents sur des VA indiquent que les conducteurs de véhicules conventionnels sont inexpérimentés dans le fonctionnement des VA, et suivent de trop près et/ou à une vitesse dangereuse (Dixit, Chand & Jair, 2016 ; Petrović, Mijailović et Pešić, 2020). Dans cette étude nous nous sommes intéressés aux catégories de comportements aberrants qui sont les plus susceptibles d'être tolérés par des conducteurs de VC lorsque la confiance dans les VA est manipulée. Concernant les comportements aberrants, nos résultats soulignent des effets notamment sur les transgressions ordinaires et émotionnelles.

Les transgressions ordinaires désignent des transgressions instrumentales, permettant par exemple de gagner du temps en ne respectant pas les limites de vitesse. En augmentant la confiance

dans les VA, les conducteurs de VC ont ainsi tendance à être plus à l'aise pour déclarer de telles transgressions dans un trafic constitué de VA. Ces résultats sont particulièrement significatifs concernant de futurs accidents de la route, mais simultanément pourraient sembler limités car reposant sur des déclarations. Toutefois, dans une méta-analyse sur le DBQ, de Winter et Dodou (2010) ont montré que les transgressions déclarées sont de bons prédicteurs des accidents de la route. Les transgressions ordinaires sont également identifiées comme des prédicteurs significatifs de l'implication dans des accidents lors des 6 premiers mois de conduite indépendante (hors conduite accompagnée) des jeunes conducteurs (Rowe et al., 2015). Ces résultats suggèrent donc que la déclaration de transgression est critique mais qu'il serait nécessaire d'approfondir les analyses en considérant notamment la tranche d'âge.

Les transgressions émotionnelles résultent de comportements hostiles ou agressifs et sont considérées comme des transgressions plus interpersonnelles. Au premier abord, il semblerait inattendu de montrer des transgressions émotionnelles envers les VA, comme par exemple de klaxonner un VA. Nos résultats soulignent que l'aspect émotionnel des transgressions ne nécessite pas la présence d'un partenaire humain clairement identifié. Il sera utile d'approfondir dans une future étude, l'importance de la présence humaine dans la manifestation de la transgression émotionnelle envers un VA. Cela est d'autant plus important qu'il existe de nombreux constats de terrain quant aux frustrations des conducteurs de véhicules conventionnels en présence de véhicules autonomes. Comme l'indiquaient Hancock, Nourbakhsh et Stewart (2019) : « Les véhicules sans conducteur sont nos ultimes étrangers. Ils leur manquent les codes pour se comporter comme des humains le feraient ». Lorsqu'elles sont expérimentées sur la route ces frustrations pourraient elle-même encourager les transgressions émotionnelles.

Ainsi, si les résultats ne montrent pas d'effets sur les erreurs et les manquements, les transgressions déclarées sont plus importantes lorsque la confiance est augmentée, que ces transgressions soient ordinaires ou émotionnelles. Par ailleurs, ces transgressions sont classiquement associées à des accidents de la route notamment chez les plus jeunes conducteurs.

5. PERSPECTIVES ET CONCLUSION

Notre étude préliminaire souligne l'importance de considérer les conséquences de la confiance envers les véhicules autonomes sur notre manière de conduire des VC. Elle doit ensuite se poursuivre sur simulateur de conduite pour mieux comprendre la dynamique de calibration dans le temps et pour étudier l'activité de conduite et l'accidentologie en situation plus écologique.

Pour approfondir la question de l'accidentologie, ce type d'étude doit se poursuivre en intégrant d'autres aspects, notamment la tranche d'âge et l'expérience de conduite. En effet, dans une étude longitudinale, Wells et al. (2008) ont montré que les infractions commises par les conducteurs diminuent avec l'âge, mais augmentent avec l'expérience de conduite. La prise en compte de l'expérience en matière de conduite en présence de VA semble donc importante. Par ailleurs, le rôle des différences individuelles dans les infractions est bien documenté (Dahlen et al., 2005). Il a été rapporté que les hommes, les jeunes conducteurs et les conducteurs ayant un faible kilométrage ont tendance à commettre plus d'infractions que les femmes, les conducteurs plus âgés et les conducteurs ayant un kilométrage plus élevé (Rowe et al., 2015). Lors de la conduite avec des AV, le style de conduite est également un aspect important à contrôler car les études montrent que le style de conduite conduit à une préférence spécifique pour le style de conduite des AV (Yusof et al., 2016). Pour saisir les différences liées à la manière dont les conducteurs conduisent ou choisissent de conduire, Taubman-Ben-Ari, Mikulincer et Gillath (2004) ont conçu l'inventaire multidimensionnel des styles de conduite (Multidimensional Driving Style Inventory - MDSI). Ce faisant, ils ont choisi

d'identifier non seulement les styles "inadaptés" pour les prévenir, mais aussi les styles "adaptatifs" pour les encourager. Cela permettrait de caractériser les conducteurs non seulement en fonction des aspects qui conduisent aux accidents, mais aussi en fonction de leur attitude générale au volant. C'est un aspect qu'il apparaît essentiel de considérer dans les études ultérieures.

Enfin, les résultats rapportés dans cette étude sont conformes au cadre de la Symbiose Homme-Outil (Navarro & Hancock, 2022), selon lequel les comportements des conducteurs sont intimement liés à leur environnement et ses outils. En suivant ce raisonnement, il n'est pas surprenant que les nouveaux outils (ici les VA) déclenchent plusieurs adaptations à court et à long terme de la part de leurs utilisateurs. Un aspect essentiel de la présente contribution est d'étendre ce cadre à d'autres humains entourés de l'outil considéré mais sans l'utiliser directement. En effet, nos outils ont atteint un tel niveau d'autonomie que leur simple existence a désormais le pouvoir d'influencer même les individus qui ne les utilisent pas directement mais qui agissent en leur présence.

6. REFERENCES

de Winter, J.C.F., & Dodou, D. (2010). The Driver Behaviour Questionnaire as a predictor of accidents: A meta-analysis, Journal of Safety Research, 41 (6), 463-470.

Dahlen, E., Martin, R., Ragan, K., & Kuhlman, M. (2005). Driving anger, sensation seeking, impulsiveness, and boredom proneness in the prediction of unsafe driving. Accident Analysis & Prevention, 37, 341-348.

Dixit, V. V., Chand, S., Nair, D.J. (2016). Autonomous vehicles: Disengagements, accidents and reaction times. *PLoS One, 11*, 1-14.

Guého, L, Granié, M.-A., Abric, J.-C. (2014). French validation of a new version of the Driver Behavior Questionnaire (DBQ) for drivers of all ages and level of experiences. *Accident Analysis & Prevention, 63 (2)*, 41-48.

Hancock, P. A., Nourbakhsh, I., & Stewart, J. (2019). On the future of transportation in an era of automated and autonomous vehicles. *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116(16)*, 7684–7691.

Hoff, K. A., & Bashir, M. (2015). Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust. *Human Factors, 57(3)*, 407–434.

Körber, M., Baseler, E., & Bengler, K. (2018). Introduction matters: Manipulating trust in automation and reliance in automated driving. Applied Ergonomics, 66, 18–31.

Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. *Human Factors, 46(1)*, 50–80.

Litman, T. (2022). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning*. Report. Victoria Transport Policy Institute.

Manchon, J. B., Bueno, M., & Navarro, J. (2021). Calibration of Trust in Automated Driving: A Matter of Initial Level of Trust and Automated Driving Style? *Human Factors.*

Martinussen, L. M., Hakamies-Blomqvist, L., Møller, M., Özkan, T., & Lajunen, T. (2013). Age, gender, mileage and the DBQ: The validity of the Driver Behavior Questionnaire in different driver groups. *Accident Analysis & Prevention, 52*, 228-236.

Navarro, J. & Hancock, P. A. (2022) Did Tools Create Humans? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*.

Mayer, A. K., Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (2009) Understanding Technology Acceptance: Effects of User Expectancies on Human-Automation Interaction. Technical Report HFA-TR-09-07. Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology School of Psychology – Human Factors and Aging Laboratory.

Petrović, Đ, Mijailović, R., & Pešić, D. (2020). Traffic Accidents with Autonomous Vehicles: Type of Collisions, Manoeuvres and Errors of Conventional Vehicles' Drivers. *Transportation Research Procedia*, *45*, 161-168.

Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics, 33*, 1315-1332.

Rowe, R., Roman, G. D., McKenna, F. P., Barker, E., Poulter, D. (2015). Measuring errors and violations on the road: A bifactor modeling approach to the Driver Behavior Questionnaire. *Accident Analysis & Prevention*, *74*, 118-125.

Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, O., & Gillath, O. (2004). The multidimensional driving style inventory - scale construct and validation. Accident Analysis & Prevention, 36(3), 323-32.

TIMS (2019). *California Statewide Integrated Traffic Records System (SWITRS)*. Safe Transportation Research and Education Center, University of California, Berkley.

Wells, P., Tong, S., Sexton, B., Grayson, G., Jones, E. (2008). Cohort II: A study of learner and new drivers. Volume 1 - Main report (Report No. 81). London: Department for Transport.

Yusof, N., Karjanto, J. Terken, J., Delbressine, F., Hassan, M. Z., Rauterberg, M. (2016). The Exploration of Autonomous Vehicle Driving Styles: Preferred Longitudinal, Lateral, and Vertical Accelerations. Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '16), October 24–26, 2016, Ann Arbor, MI, USA.

7. NOTE

Cette étude a été soutenue par la délégation à la sécurité routière (DSR). Nous remercions Milo Balcon, Léna Cravec, Aurore Desmouliès, Jean-Baptiste Alix, Lucas Laroche, Théodore Le Bozec et Laura Verdier pour leur contribution dans la collecte des données.

CL : *Interface multimodale et conduite automatisée : étude exploratoire sur les transitions entre niveaux d'automatisation.*

Sabine Langlois[1], Noé Monsaingeon[2], Virgil Rousseaux[3] & Jean-Marc Tissot[4]

[1]Renault Technocentre, Guyancourt ; sabine.langlois@renault.com

[2]Laboratoire Cognition, Langue, Langage, Ergonomie, Toulouse ; noe.monsaingeon@univ-tlse2.fr

[3]IRT SystemX, Palaiseau ; virgil.rousseaux@irt-systemx.fr

[4]Valeo, Annemasse ; jean-marc.tissot@valeo.fr

RÉSUMÉ

Plusieurs niveaux d'automatisation peuvent être disponibles dans un véhicule. Les transitions entre ces niveaux sont susceptibles de créer des confusions et d'impacter la confiance des conducteurs. Cette étude vise à évaluer l'influence d'une interface multimodale sur l'utilisation des niveaux d'automatisation. Dans un simulateur de conduite, les participants activaient le niveau hautement automatisé, puis pouvaient transiter vers la conduite manuelle ou partiellement automatisée. Ils réalisaient deux scénarios de conduite. Une interface multimodale était comparée à une interface essentiellement visuelle. Le comportement des conducteurs était mesuré, ils évaluaient leur confiance dans l'automatisation, et des entretiens étaient menés. Les résultats indiquent qu'un peu plus de la moitié des participants reprend le contrôle par la conduite manuelle tandis que les autres apprécient de transiter vers la conduite partiellement automatisée. La confiance a évolué positivement avec l'interface multimodale. Les résultats permettent de formuler de nouvelles recommandations sur le design des interfaces des véhicules automatisés.

MOTS-CLÉS

Conduite automatisée, interface humain-machine, conscience de la situation, multimodalité, entretien explicitation

1. INTRODUCTION

Les véhicules hautement automatisés commencent à faire leur entrée sur le marché automobile. Dans un futur proche, ils permettront par exemple au conducteur de lire ou travailler pendant que le système automatisé réalise la tâche de conduite. L'interface du véhicule, responsable d'informer efficacement sur l'état du système, peut impacter la confiance accordée à l'automatisation (Carsten & Martens, 2019 ; Monsaingeon et al., 2021 ; Parasuraman & Riley, 1997). Cette étude s'est intéressée à l'effet sur la conscience de la situation d'une interface multimodale comparée à une interface essentiellement visuelle. L'effet étudié concernait aussi la conscience de l'état du système automatisé, la confiance, et l'expérience vécue des conducteurs.

D'après la classification des niveaux d'automatisation de la Society of Automotive Engineers (SAE, 2021), 6 niveaux d'automatisation existent. Le niveau 0 correspond à la conduite entièrement manuelle, désigné *L0* dans ce manuscrit. Au niveau 1, désigné *L1*, le système prend en charge soit le contrôle longitudinal soit le contrôle latéral. Les systèmes automatisés des véhicules de niveau 2, désigné *L2*, contrôlent à la fois les mouvements longitudinaux et latéraux du véhicule. En L2, le conducteur a pour rôle de superviser l'activité du système. L0, L1 et L2 correspondent à la conduite manuelle, désignée *Manual Driving* (MD). Au niveau 3, désigné *Automated Driving* (AD), le conducteur peut temporairement céder au système la supervision de la conduite, ce qui peut lui permettre de vaquer à d'autres occupations sans surveiller l'environnement de conduite (e.g., lire, regarder une

vidéo). Cet article est centré sur les problématiques d'interfaces liées à un système intégrant les niveaux L0, L1, L2 et AD, et leurs effets sur la conscience de la situation, la confiance et la charge mentale.

Les transitions d'un niveau d'automatisation à un autre peuvent impacter la conscience de la situation et la conscience des niveaux. Elles sont définies comme la capacité à percevoir, comprendre et anticiper les futurs états de l'environnement et des systèmes automatisés (Endsley, 1995). Dans l'étude de Feldhütter et al. (2018), des conducteurs utilisaient AD, puis passaient soit par L0 avant de passer en L2, soit activaient directement L2. Les résultats ont montré une diminution de la conscience des niveaux lors des transitions d'AD à L2 comparativement aux transitions d'AD à L0 puis à L2. En revanche, le choix que peuvent effectuer les conducteurs, lorsqu'ils ont la possibilité de transiter vers L2, L1, ou L0 après la période de conduite en AD, n'a pas été étudié.

En AD, une période, désignée *Take Over Request* (TOR), est laissée au conducteur pour reprendre le contrôle du véhicule. Lorsque la durée du TOR est courte, les conducteurs reprennent le contrôle du véhicule plus rapidement que lorsque cette période est longue, et un TOR exploitant des informations sonores et vibro-tactiles provoque un temps de reprise en main plus court qu'un TOR uniquement visuel (Zhang et al., 2019). La charge attentionnelle liée au traitement du TOR est répartie entre les différentes ressources du conducteur (Wickens, 2008). L'utilisation d'interfaces exploitant plusieurs modalités sensorielles devrait également améliorer la conscience des niveaux lorsque les conducteurs transitent d'AD vers L2 ou L1. De plus, la manière de présenter les informations dans l'interface s'avère impacter la confiance dans l'automatisation (Seppelt & Lee, 2019). Nous postulons ici qu'une interface multimodale influence positivement la confiance car elle stimule les ressources attentionnelles de manière appropriée.

Cette étude avait pour objectif d'étudier l'interaction de conducteurs avec des systèmes automatisés de type AD, L2, et L1. Plus précisément, pendant une expérience en simulateur de conduite, les hypothèses suivantes ont été testées : (1) La possibilité offerte par le système d'avoir une assistance lors de la reprise en main (L1 ou L2) est utile et appréciée ; (2) L'interface multimodale rend l'expérience de conduite plus satisfaisante ; (3) L'interface multimodale permet d'avoir une meilleure conscience des niveaux d'automatisation et de la situation ; (4) L'interface multimodale permet d'augmenter la confiance par rapport à l'interface de référence.

2. METHODE

2.1. Participants

Les participants recrutés respectaient l'ensemble des critères suivants : avoir le permis depuis au moins 3 ans, posséder un véhicule, conduire régulièrement (au moins 3 fois par semaine), avoir une expérience du régulateur de vitesse simple ou adaptatif, être intéressé voire enthousiaste vis-à-vis de l'automatisation de la conduite. Ils devaient avoir une vision et une audition correctes et ne pas présenter de contre-indication médicale à la conduite en simulateur. Un échantillon de 24 participants a ainsi été constitué, composé d'autant d'hommes que de femmes, et équilibré en âges (⅓ de l'échantillon avait entre 25 et 35 ans, ⅓ avait entre 35 et 50 ans, ⅓ avait entre 55 et 65 ans).

2.2. Matériel

Un simulateur de conduite a été fabriqué pour les besoins du projet de recherche dans lequel s'inscrit l'étude. Il était constitué d'un véhicule Renault Espace dont la direction était reliée au logiciel de simulation SCANeR Studio 1.9 (AVSimulation, 2020) via un système permettant de contrôler le couple résistant du volant (Sensodrive). La distance à l'œil était de 2,5m. L'écran incurvé permettait de créer un champ de vision de 180°.

Deux scénarios de conduite ont été créés sur la base d'un terrain reproduisant l'autoroute A12, à proximité de sa jonction vers l'A13 (i.e., 2*4 voies). Le premier scénario de test, désigné *TOR 60s*, consistait à rouler au choix en L0, L1 ou L2 sur l'A12 qui devient embouteillée, activer AD rendu disponible par la réduction de vitesse du trafic en deçà de 60 km/h, rester en AD pendant 4min puis recevoir un TOR ayant une durée de 60s. Le conducteur devait profiter de ces 60s pour passer en MD et prendre la direction de Rouen, ce qui pouvait nécessiter de faire jusqu'à 2 changements de voie. Le second scénario de test, désigné *TOR 10s*, était similaire jusqu'au moment où le trafic accélérait au-delà de 60km/h si bien qu'un TOR de durée 10s était déclenché. Le conducteur devait accélérer et prendre la direction de Paris, ce qui ne nécessitait pas de changer de voie.

Le fonctionnement de L1 et L2 s'inspirait de celui de véhicules de série actuels. En AD, si le conducteur n'avait pas repris la main à l'issue du TOR, une manœuvre d'immobilisation du véhicule, désignée *Minimum Risk Maneuver* (MRM), était engagée : le véhicule décélérait puis s'arrêtait en pleine voie. Le fonctionnement d'AD s'inspirait d'un système opérationnel en embouteillage, n'agissant qu'en deçà 60 km/h et ne pouvant pas faire de manœuvre de changement de voie.

L'interface de référence essentiellement visuelle, désignée *Baseline*, s'appuyait sur des icônes et textes affichés sur le tableau de bord placé derrière le volant. Un afficheur tête haute répliquait l'essentiel de ces informations en bas de pare-brise, en L0, L1 et L2, et en AD seulement lors de TOR et MRM. Des sons vocaux et non vocaux, émis par les hauts parleurs de série, étaient spatialisés par un logiciel conçu par la société Arkamys. Une LED unique, au niveau du rétroviseur extérieur, indiquait la présence d'un véhicule dans l'angle mort. Le volant était équipé d'un écran tactile qui incluait les commandes des différents niveaux. Le couple résistant du volant était augmenté en AD.

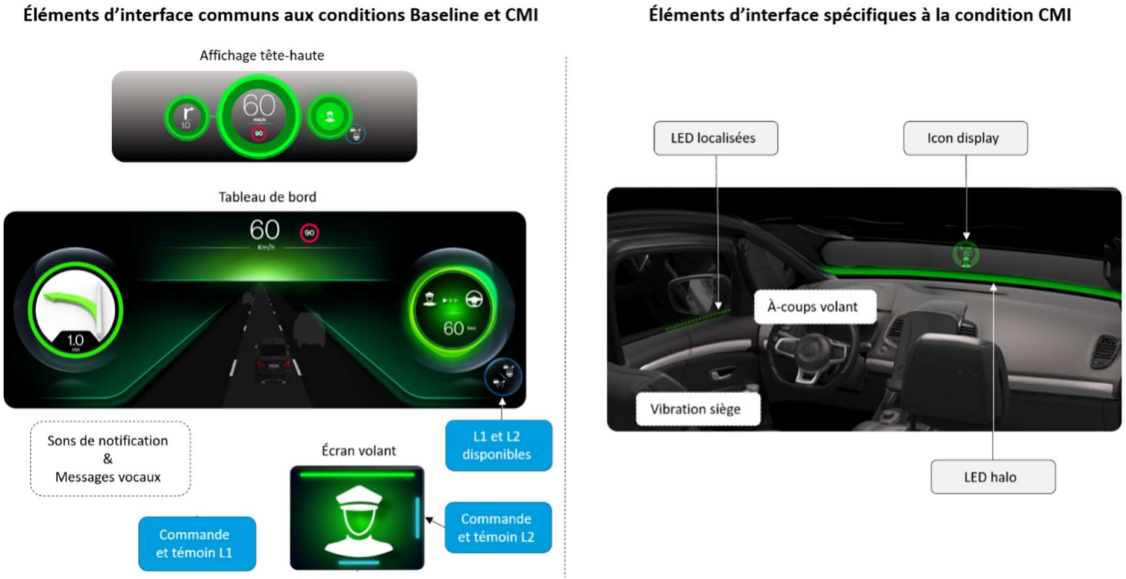


Figure 1 : Représentation de l'interface CMI lors du TOR60.

L'interface multimodale, désignée *CMI*, bénéficiait des ajouts suivants par rapport à l'interface Baseline (voir Figure 1) : un à-coup dans le volant était déclenché lors des transitions impliquant L2 ; des vibrations étaient émises dans le dossier et l'assise du siège lors de TOR et MRM ; des LED placées en bas des vitres avant et du pare-brise permettaient de créer des animations en particulier pour suivre les véhicules lors du TOR (*LED localisées*) ; une bande de LED (*LED halo*) placée en bas de pare-brise était allumée en AD ; un ensemble de LED en milieu de pare-brise affichait en AD l'icône représentant le buste d'un chauffeur et le compte à rebours du temps disponible en AD (*Icon display*).

2.3. Procédure et plan d'expérience

Lors du recrutement du participant, celui-ci remplissait une échelle de confiance dans l'automatisation. Les 24 participants étaient répartis en deux groupes de 12, l'un testant l'interface Baseline, l'autre l'interface CMI. La passation commençait par un tutoriel sur tablette interactive afin d'expliquer les niveaux d'automatisation, leurs interfaces, et les moyens de passer d'un niveau à un autre. Le participant s'installait alors dans le simulateur et conduisait sur un scénario d'apprentissage (*Training*), d'abord sans trafic, puis avec embouteillage. Le participant se familiarisait avec les commandes, les moyens de navigation entre les niveaux, les interfaces, et les TOR. Lors du TOR, l'expérimentateur incitait le participant à passer en L2. L'échelle de confiance était à nouveau remplie. Les deux scénarios de test suivaient selon un ordre contrebalancé. Le participant devait activer AD, puis jouer au jeu 2048 sur un smartphone, et lors du TOR suivre l'indication de direction placée à gauche du tableau de bord. L'échelle de confiance était remplie une dernière fois, suivie d'autres échelles qui ne seront pas discutées dans cet article. Le design expérimental de cette étude était mixte. Un premier facteur était l'interface du véhicule et était inter-sujet. Le deuxième facteur était le scénario de conduite et était intra-sujet.

2.4. Mesures

Les mesures exploitées concernaient des paramètres révélateurs du comportement des conducteurs, des entretiens d'explicitation (Cahour, 2016), et des réponses à des échelles d'évaluation. Concernant les comportements du conducteur, une première mesure était le nombre de conducteurs transitant vers l'un des trois niveaux possibles (L2, L1, L0) après un TOR. Une seconde mesure était la durée moyenne séparant TOR et la transition de niveau, par groupe et par scénario.

Concernant les entretiens d'explicitation, une première analyse consistait, dans les différentes étapes du scénario, à traduire la valence de l'expérience vécue en score (*feeling score*), évalué par deux codeurs. Une expérience uniquement négative donnait un score de -1 (e.g., surprise négative sur le système et la situation, pression temporelle, surcharge cognitive), une expérience équilibrée ou sans ressenti émotionnel donnait un score de 0, une expérience uniquement positive donnait un score de +1 (sentiment de détente ou de contrôle, surprise agréable quant au fonctionnement du système) (Chauvin et al., 2020). Les étapes du scénario sont : la période où AD était activé (*AD activated*), la demande de reprise en main (*TOR60* ou *TOR10* suivant le scénario), la transition depuis AD vers MD (*Switch AD-MD*), l'arrivée dans le niveau choisi (*L0-L1 after AD* ou *L2 after AD*). La somme des scores a été calculée pour chaque étape du scénario et pour chaque condition d'interface. En complément, la raison des expériences négatives (surprise, pression temporelle, surcharge cognitive) a été comptabilisée.

Une deuxième analyse des entretiens d'explicitation a consisté à classifier les verbatims des participants selon les modes de contrôle cognitif définis par Hollnagel et al. (2003) : stratégique, tactique, opportuniste ou erratique. Le nombre de conducteurs a ensuite été additionné pour chaque mode de contrôle en fonction du scénario et de l'interface. La troisième analyse des entretiens visait à compter le nombre de confusions entre niveaux d'automatisation évoquées par les conducteurs.

Enfin, des échelles d'évaluation standardisées de la charge mentale et de l'utilisabilité ont été complétées mais ne seront pas discutées dans cet article. Une échelle d'évaluation de la confiance dans l'automatisation était remplie. Le participant situait sa confiance sur une échelle allant de 0 à 10 en répondant à la question : « Quelle confiance accorderiez-vous à la voiture automatisée ? ». Des tests de significativité des différences ont été effectués sur les durées de reprise en main et les scores de confiance. Compte tenu de la taille de l'échantillon, il convient d'être prudent sur les conclusions qui peuvent être tirées ces tests.

3. RÉSULTATS

3.1. Comportement de conduite

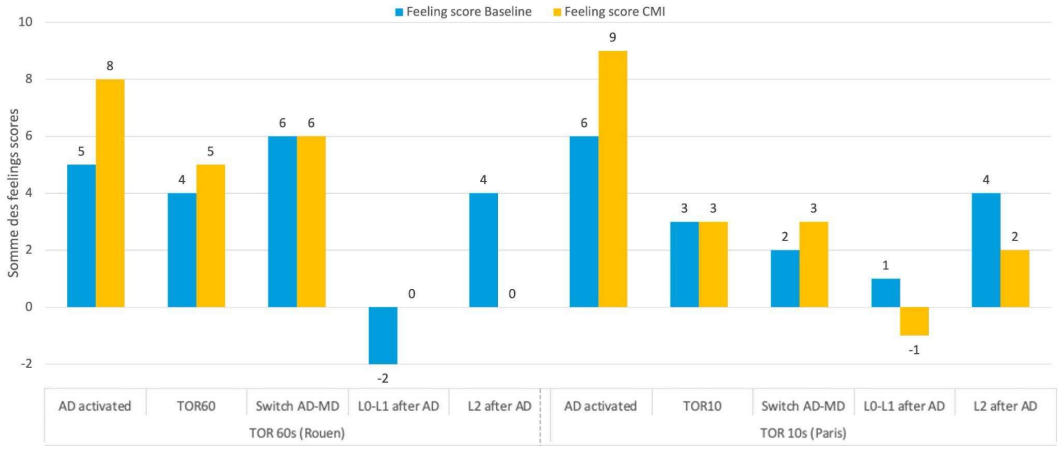
Sur l'ensemble des scénarios, la majorité des reprises en main concernait une transition vers L0 (*N* = 24), mais une grande partie a consisté en une transition vers L2 (*N* = 19). Le groupe avec l'interface CMI avait tendance à reprendre le contrôle de façon similaire entre L0 (*N* = 10) et L2 (*N* = 9), tandis que L1 (*N* = 3) est moins utilisé. Le groupe ayant l'interface Baseline avait davantage favorisé L0 (*N* = 14) à L2 (*N* = 10), et a peu fréquemment transité vers L1 (*N* = 2). Parmi l'ensemble des reprises en main en L0, certaines ont été faites lors de la MRM (*N* = 10). Parmi ces reprises en main en MRM, la majorité correspond au groupe CMI (*N* = 6).

Concernant la durée de reprise en main, le groupe Baseline (*M* = 6,72s ; *ET* = 2,00) semble avoir effectué la transition de niveau plus rapidement que le groupe CMI (*M* = 7,65s ; *ET* = 1,90) dans le scénario TOR 10s. Cette différence n'est pas significative d'après les résultats du test non paramétrique de Mann-Whitney ($p > 0,1$). Une tendance identique s'est dessinée dans le scénario TOR 60s, où le groupe Baseline (*M* = 16,22s ; *ET* = 16,34) a effectué la transition de niveau plus rapidement que le groupe CMI (*M* = 32,24s ; *ET* = 19,85). Cette différence s'est révélée être significative $U = 35,0$; $p = 0,043$; $r = 0,50$.

3.2. Entretiens

Les feeling scores (voir Figure 2) montrent un écart entre les deux conditions d'interface lorsqu'AD était activé. Pour le scénario TOR 60s, les conducteurs à l'interface CMI semblent avoir plus apprécié l'activation d'AD (*N* = 8) que les conducteurs à l'interface Baseline (*N* = 5). En revanche, les conducteurs du groupe Baseline (*N* = 4) rapportent une expérience plus positive lors de la transition vers L2 que les conducteurs du groupe CMI (*N* = 0). Le scénario TOR 10s est analogue. Ses scores lors du TOR et du Switch AD-MD sont plus faibles que ceux du scénario TOR 60s.

Figure 2 : Feeling score en fonction du scénario, de l'interface et de l'étape du scénario.



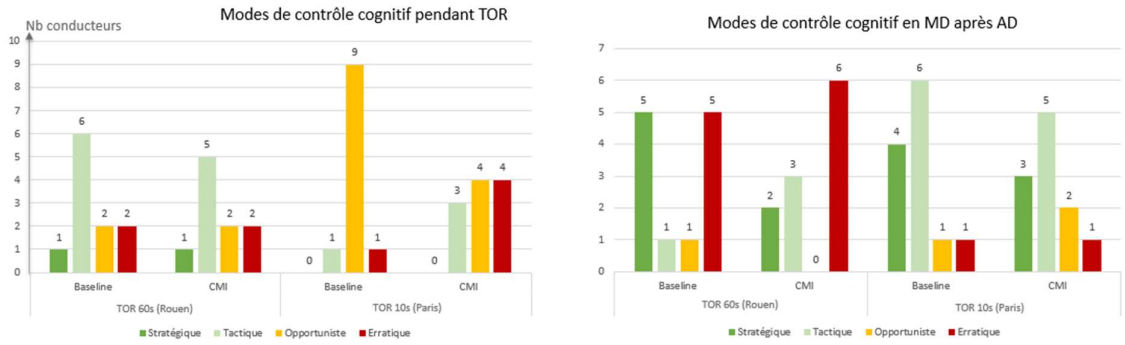
Le compte des expériences négatives montre qu'un domaine dans lequel le groupe à l'interface CMI se distingue du groupe à l'interface Baseline est la pression temporelle lors de l'étape du TOR. Le groupe CMI a ressenti une moindre pression (*N* = 2) que le groupe Baseline (*N* = 6) dans le scénario TOR 10s. Une tendance similaire s'est dessinée dans le scénario TOR 60s où le groupe CMI rapporte une pression moindre (*N* = 0) que le groupe Baseline (*N* = 2).

Les résultats suivants détaillent les modes de contrôle cognitif en fonction de l'étape du scénario (pendant le TOR ou après la transition vers MD) et du scénario (TOR60 ou TOR10). Pendant le TOR du scénario TOR 60s, une très faible différence a été observée entre les deux interfaces (voir Figure 3).

Les modes étaient majoritairement tactiques, tel qu'attendu pour anticiper les étapes du réengagement dans la conduite (arrêter le jeu, regarder l'environnement, se remettre en posture de conduite). En revanche, pendant le scénario TOR 10s, une majorité de modes opportunistes a été observée pour le groupe Baseline (*N* = 9) alors que les participants du groupe CMI se partagent entre un mode opportuniste (*N* = 4) ou erratique (*N* = 4). Ces 4 participants erratiques ont attendu la MRM pour reprendre le contrôle du véhicule. Il est à noter qu'ils ne rapportent pas nécessairement de feeling score négatif.

Concernant l'étape suivant la transition en MD après AD, dans le cas du scénario TOR 60s, de nombreux modes erratiques sont observés, aussi bien pour le groupe Baseline (*N* = 5) que pour le groupe CMI (*N* = 6). Ces participants rapportent également un feeling score négatif, qui s'explique par une confusion de niveau (*N* = 2), une sortie prise tardivement (*N* = 2) ou manquée (*N* = 1), voire une collision (*N* = 1). Les 60s, laissées pour faire les changements de voie et prendre la sortie, semblent insuffisantes. Les modes de contrôle pendant le scénario TOR 10s sont plus satisfaisants avec une majorité de participants du groupe CMI (*N* = 5) et du groupe Baseline (*N* = 6) qui présente un mode tactique. Cela peut s'expliquer par le fait qu'aucune manœuvre n'était requise dans ce scénario : le conducteur devait simplement rester dans sa voie.

<u>Figure 3 :</u> Nombre de conducteurs présentant chaque mode de contrôle cognitif en fonction de l'étape du scénario (pendant le TOR ou pendant la transition vers MD), de l'interface et du scénario.



Enfin, concernant l'analyse des confusions sur les actions du système lors du scénario TOR 10s, aucune confusion n'a été rapportée pour le groupe CMI (*N* = 0) alors que des conducteurs du groupe Baseline (*N* = 2) étaient confus sur le rôle du système, et / ou ne comprenaient pas ses actions (*N* = 3). Aucune différence notable n'est relevée lors du scénario TOR 60s. Ces résultats suggèrent que l'interface multimodale CMI permet de mieux comprendre le fonctionnement du système lors du TOR10 que l'interface Baseline.

3.3. Confiance dans l'automatisation

La confiance globale était évaluée avant le test, lors du recrutement, après le training et en fin de test. Le test non paramétrique de Friedman pour mesures répétées révèle une absence globale de l'effet du moment de l'évaluation sur la confiance χ^2 (2, *N* = 24) = 5,09, *p* = 0,08. Cependant, la confiance initiale était élevée pour le groupe Baseline (*M* = 8,42 ; *ET* = 1,31) et pour le groupe CMI (*M* = 8,08 ; *ET* = 1,88). Pour le groupe Baseline (*M* = 7,58 ; *ET* = 1,03) comme pour le groupe CMI (*M* = 7,75 ; *ET* = 1,93), la confiance diminuait après le training. A la fin du test, la confiance du groupe Baseline augmentait peu (*M* = 7,75 ; *ET* = 2,77) tandis que celle du groupe CMI croissait sensiblement (*M* = 8,67 ; *ET* = 0,89). Il semblerait que l'interface CMI ait permis d'augmenter la confiance entre la fin du training et la fin du test, alors ce que n'était pas le cas avec l'interface Baseline.

4. DISCUSSION

4.1. Hypothèse 1 : La possibilité offerte par le système d'avoir une assistance lors de la reprise en main (L1 ou L2) est utile et appréciée

Les résultats semblent aller dans le sens de cette hypothèse, car bien que la majorité des participants ait repris le contrôle du véhicule en passant par L0, de nombreux participants ont transité vers le niveau L2, en particulier lorsqu'ils possédaient l'interface multimodale. Feldhütter et al. (2018), en quantifiant l'efficacité avec des mesures oculométriques, ont montré que le passage par le niveau 0 améliore l'allocation de l'attention. Cependant, il est possible que cet effet soit modulé par le type d'interface utilisé et le type de situation rencontré. Il serait intéressant, dans une prochaine étude, de mesurer le coût attentionnel lors des transitions d'AD vers L2 ou vers L0 pour déterminer s'il y a un gain apporté par la multimodalité de l'interface.

4.2. Hypothèse 2 : L'interface multimodale rend l'expérience de conduite plus satisfaisante que l'interface de référence

Il est difficile de statuer sur cette hypothèse car des résultats contradictoires sont observés entre les feeling scores et les modes de contrôle cognitif. L'examen des feeling scores amène à conclure que le scénario TOR 60s est plus satisfaisant que TOR 10s. Cependant l'étude des modes de contrôle cognitif du conducteur montre que le comportement de conduite est plus satisfaisant à l'issue d'une reprise en main en 10s, sans changement de voie requis, qu'en 60s, avec jusqu'à deux changements de voie nécessaires. Cette contradiction entre feeling scores et modes de contrôle se retrouve aussi dans la comparaison des interfaces lors du scénario TOR 10s. En effet, si le nombre de ressentis négatifs liés à la pression temporelle est réduit avec l'interface CMI, plus de conducteurs ont un mode considéré comme erratique dans cette condition car ils ont attendu d'être en MRM pour reprendre la main. Cela pourrait être dû à un manque de conscience de l'effet délétère de la MRM sur les véhicules derrière, le véhicule allant jusqu'à s'immobiliser en pleine voie.

4.3. Hypothèse 3 : L'interface multimodale permet d'avoir une meilleure conscience des niveaux d'automatisation et de la situation

Les résultats semblent aller dans le sens de cette hypothèse. L'interface CMI a provoqué moins de confusions sur le rôle du système et une meilleure compréhension sur les actions qu'il prend en charge. Cependant, quatre participants passent en MRM avec l'interface CMI dans le scénario TOR 10s. L'un des quatre participants explique qu'il croyait être en TOR60. Ce résultat, qui ne correspond pas à une confusion de niveau mais à une sous-estimation du temps encore disponible en AD, amène à reconsidérer le choix de présenter une interface identique lors des 10 dernières secondes du TOR lorsqu'il s'agit d'un TOR10 ou d'un TOR60, et de ne graduer l'urgence au sein de ces 10s que grâce à l'accélération du rythme du son et des vibrations dans le siège. De plus, il convient d'afficher explicitement le compte à rebours pour inciter le conducteur à reprendre la main avant la MRM.

4.4. Hypothèse 4 : L'interface multimodale permet d'augmenter la confiance par rapport à l'interface de référence

Les résultats tendent à aller dans le sens de cette hypothèse. En effet, l'interface multimodale mène à une augmentation de la confiance après utilisation, ce qui n'est pas le cas pour l'interface essentiellement visuelle. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que l'interface multimodale informe mieux sur le fonctionnement du système. A en juger par le nombre de confusions sur le fonctionnement du système, les conducteurs possédant l'interface multimodale comprenaient mieux le fonctionnement des niveaux d'automatisation. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Seppelt et Lee (2019), qui ont montré qu'améliorer les connaissances du conducteur sur le fonctionnement d'un système automatisé permet de mieux calibrer la confiance qui lui est accordée.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans l'ensemble, les résultats indiquent qu'il est utile de laisser aux conducteurs la possibilité d'activer directement L1 et L2 après une phase de conduite en AD. Il serait utile de leur offrir la possibilité d'augmenter la durée du TOR en fonction du contexte : 10s semblent pour certains trop courtes dans le cas d'accélération du trafic au-delà du seuil d'AD, et 60s ne suffisent pas s'il convient de faire des manœuvres de changement de voie. Il serait utile de coupler AD à la navigation, afin d'apporter des conseils sur les changements de voie à effectuer. Enfin, si l'interface multimodale s'est montrée bénéfique lors d'un TOR de 60s, des améliorations sont à apporter lors de l'affichage des 10 dernières secondes. Nous recommandons de maintenir l'affichage numérique du compte à rebours jusqu'à 0s. Nous recommandons également de rendre plus saillante l'indication du TOR10 comparativement aux 10 dernières secondes du TOR60.

La méthodologie déployée pour cette étude montre les apports des entretiens d'explicitation notamment pour donner un éclairage sur la valence émotionnelle d'une expérience, sur les modes de contrôle cognitif déployés et enfin sur les confusions de niveau, afin d'avoir une vision d'ensemble de l'expérience vécue. Une limite de cette étude est d'avoir été réalisée en simulateur de conduite et non sur route réelle. De futures études sur route, semblables aux travaux de thèse de Poisson (2019), permettraient de rendre les résultats plus robustes en s'appuyant sur des situations écologiques.

6. REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par le gouvernement français dans le cadre du programme national France 2030, au sein de l'Institut de recherche technologique SystemX.

7. BIBLIOGRAPHIE

Cahour, B., Salembier, P., & Zouinar, M. (2016). Analyzing lived experience of activity. *Le Travail Humain*, 79(3), 259–284. https://doi.org/10.3917/ th.793.0259

Carsten, O., & Martens, M. H. (2019). How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions. *Cognition, Technology & Work*, *21*(1), 3-20. https://doi.org/10.1007/s10111-018-0484-0

Chauvin, C., Said, F., Rauffet, P., Langlois, S. (2020). Analyzing the take-over performance in a automated vehicle in terms of cognitive control modes. *Le travail humain*, *83*(4), 379-405. https://doi.org/ 10.3917/th.834.0379

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, *37*(1), 32-64. https://doi.org/10.1518/001872095779049543

Feldhütter, A., Segler, C., & Bengler, K. (2018). Does Shifting Between Conditionally and Partially Automated Driving Lead to a Loss of Mode Awareness? In N. A. Stanton (Éd.), *Advances in Human Aspects of Transportation* (Vol. 597, p. 730-741). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1_70

Hollnagel, E., Nåbo, A., & Lau, I. V. (2003). A Systemic Model for Driver-in-Control. *Driving Assessment Conference*, *2*, Art. 2003. https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1101

Monsaingeon, N., Caroux, L., Mouginé, A., Langlois, S., & Lemercier, C. (2021). Impact of interface design on drivers' behavior in partially automated cars: An on-road study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *81*, 508-521. https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.06.019

Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *39*(2), 230-253. https://doi.org/10.1518/001872097778543886

Poisson, C. (2019). Concevoir pour le développement de la conduite automobile : Contribution pour la compréhension de l'activité et des genèses instrumentales des sujets et du véhicule autonome [These de doctorat, Paris 8]. https://www.theses.fr/2019PA080061

SAE (2021). *SAE Levels of Driving Automation™ Refined for Clarity and International Audience*. https://www.sae.org/site/blog/sae-j3016-update

Seppelt, B. D., & Lee, J. D. (2019). Keeping the driver in the loop: Dynamic feedback to support appropriate use of imperfect vehicle control automation. *International Journal of Human-Computer Studies*, *125*, 66-80. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.12.009

Wickens, C. D. (2008). Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *50*(3), 449-455. https://doi.org/10.1518/001872008X288394

Zhang, B., de Winter, J., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *64*, 285-307. https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.04.020

CL : *LE SENTIMENT D'INSÉCURITÉ DANS LES TRANSPORTS PARTAGÉS AUTONOMES : REVUE DE QUESTIONS.*

Marion Gras Gentiletti[1] & Béatrice Cahour[2]

1 École Télécom Paris / IPP – grasgentiletti@telecom-paris.fr

2 École Télécom Paris / IPP – beatrice.cahour@telecom-paris.fr

RÉSUMÉ

Le changement climatique conduit actuellement les acteur.trice.s de la transition écologique à repenser nos modes de transport. Dans ce contexte, le train autonome présenterait un intérêt puisqu'il constitue un transport collectif à faible impact carbone. La question de la sécurité, centrale dans le développement de ce nouveau type de transport, reste néanmoins actuellement traitée sur le plan de la fiabilité technique et ne s'intéresse que partiellement aux ressentis réels des voyageur.euse.s alors que les ressentis en question auront un impact sur l'acceptation des futurs services. Ce papier vise à identifier des travaux scientifiques existants dans la littérature nationale et internationale afin de recenser les connaissances existantes sur le sentiment d'(in)sécurité vis-à-vis des trains autonomes, et plus largement des transports partagés autonomes.

MOTS-CLÉS

Transport autonome, transport partagé, usages, sentiment d'insécurité

1. INTRODUCTION

Le contexte climatique actuel implique de repenser nos modes de transport. C'est pourquoi les industriels se tournent depuis plusieurs années vers la conception de nouveaux modes de transport, plus écologiques parce que partagés notamment. Le train autonome en particulier présenterait un intérêt puisqu'il permettrait, d'après ses promoteur.trice.s — et comparativement aux trains traditionnels — d'assurer une meilleure gestion énergétique, de proposer une plus grande offre de services en s'adaptant « à la demande » ou encore de réduire les risques liés aux facteurs humains (Fraszczyk et al., 2015; López-Lambas & Alonso, 2019). La question de la sécurité apparait effectivement comme centrale dans le développement de ces nouvelles offres de transport. Elle reste néanmoins actuellement traitée sur le plan de la fiabilité technique et ne s'intéresse que partiellement aux ressentis réels des voyageur.euse.s alors que les ressentis en question auront un impact sur l'acceptation du futur service.

Comprendre la perception des futur.e.s voyageur.euse.s à l'égard des trains sans conducteur.trice semble pourtant nécessaire dans la mesure où des projets de conception de trains autonomes sont en cours, par exemple en Australie, en Russie, aux États-Unis (Advancing Public Transport, 2022), mais aussi en France avec le nouveau projet Taxirail®[7] de navette autonome sur rail et à la demande (Vaillant, 2018).

Dans ce contexte, il nous a semblé intéressant d'appréhender les études qui documentent le sentiment de sécurité et d'insécurité autour du train autonome, et plus généralement des transports partagés autonomes, du point de vue des futur.e.s voyageur.euse.s. Ce papier vise donc à identifier

[7] Les autrices participent à ce nouveau projet Taxirail® et vont y étudier les sources de confort/inconfort, les moyens de limiter les freins à l'usage et les services afférents souhaités.

des travaux scientifiques existants dans la littérature nationale et internationale afin de recenser les connaissances existantes sur le sentiment d'(in)sécurité vis-à-vis de ces modes de transport.

2. LE SENTIMENT D'INSECURITE : UN RESSENTI CONSTRUIT ET SITUE

La perception du risque peut être considérée comme le produit de l'interaction des caractéristiques d'un sujet avec une situation (Kouabénan et al., 2007; L'Allain et al., 2015). En ergonomie, le concept de représentation décrit justement le processus par lequel un individu construit sa représentation d'une situation, à partir de ce qu'il en perçoit, de son expérience et de ses connaissances antérieures (Maline & Pretto, 1994; Weill-Fassina et al., 1993). Ce dernier point est central dans les travaux sociologiques de Noble (2016) qui défend une approche dispositionnelle de l'insécurité, c'est-à-dire une approche qui se concentre, à la suite des travaux de Lahire (2005), sur le passé incorporé des sujets. Ce passé incorporé correspond à l'ensemble des expériences qu'une personne porte avec elle – qu'elle a vécue ou observé ou qu'on lui a rapportées – et qui lui permet d'interpréter la situation (Lahire, 2012). Dans cette optique, Pastré définit l'expérience comme ce qui correspond non seulement à ce qui est vécu, mais aussi à la manière dont on s'approprie ce vécu et dont on l'intègre à soi (Pastré, 2011). Cahour et al. (2016) définissent plus précisément l'expérience vécue comme le flux d'actions, d'émotions, de pensées et de sensations perceptives générées lors de la réalisation d'une activité, dont le sujet est ou peut être rendu conscient. Nous pouvons donc définir le risque perçu comme l'opération psychologique par laquelle l'esprit, en organisant les perceptions, évaluations et ressentis de son expérience passée ou présente, se forme une représentation plus ou moins intuitive d'une situation et en évalue les dangers éventuels. Ce point permet par ailleurs de souligner que la perception du risque dépend moins du risque réel que de l'interprétation de la situation par les personnes. Comprendre les sources du sentiment d'insécurité émergeant du couplage sujet-situation apparait alors comme fondamental pour identifier comment le sujet investit (ou non) les transports partagés autonomes. Ce papier vise donc à identifier des travaux scientifiques existants dans la littérature nationale et internationale qui, à partir d'approches centrées sur le point de vue du sujet, documentent le sentiment d'(in)sécurité vis-à-vis des transports partagés autonomes.

3. LES SOURCES DE CRAINTES DANS LES TRANSPORTS PARTAGES AUTONOMES

3.1. Peu de risques perçus sur le plan de la fiabilité technique

Les travaux de Lemonnier et al. (2021; sous presse) ont cherché à identifier les facteurs favorisant ou freinant l'acceptabilité du train autonome en interrogeant, à travers des entretiens individuels semi-directifs, 30 personnes autour du train actuel, du train de niveau d'automatisation 3 (sans conducteur.trice, mais avec du personnel à bord) et du train de niveau d'automatisation 4 (sans conducteur.trice ni personnel de bord). Les autrices constatent que le train de niveau 3 est associé à des représentations de ponctualité, de rapidité, de fiabilité et de sécurité routière. Différentes études de la communauté internationale confortent ce résultat en s'appuyant sur des études empiriques réalisées autour de navettes autonomes (Lenz et al., 2016; Nordhoff et al., 2017; Piao et al., 2016; Salonen, 2018). Les futur.e.s utilisateur.trice.s interrogé.e.s estiment que les chauffeur.euse.s de bus peuvent se montrer imprévisibles, contrairement aux navettes autonomes, plus constantes dans leurs comportements. Ces dernières, toujours d'après les futur.e.s utilisateur.trice.s, respecteraient par ailleurs mieux les horaires, ce qui permettrait de fluidifier le trafic, et donc d'améliorer la sécurité. De manière générale, les navettes autonomes sont perçues comme plus fiables sur le plan technique, moins faillibles, moins perturbables et moins fatigables que les conducteurs.trice.s humain.e.s : elles sont par exemple capables de voir dans toutes les directions simultanément. Fraszczyk & Mulley (2017) révèlent à l'issue de leur étude sur les conditions d'acceptabilité des trains sans conducteur.trice.s en Australie que les voyageur.euse.s de trains sont enclin.e.s à se projeter positivement dans un train sans conducteur.trice.

La gestion des situations routières non prévues, c'est-à-dire qui se situent hors contexte opérationnel (Operational Design Domain)[8], semble néanmoins centrale dans les préoccupations des personnes interrogées autour des différents modes de transport autonome. Des travaux, qui pourtant révèlent de la part des voyageur.euse.s un fort sentiment de sécurité et de confiance dans une navette autonome de niveau 4 (sans conducteur.trice ni personnel de bord), précisent que la question de la gestion des situations imprévues demeure une préoccupation importante, notamment durant la phase de transition pendant laquelle les véhicules autonomes (voitures et bus) côtoieront encore des véhicules manuels (Cahour et al., 2021; López-Lambas & Alonso, 2019; Salonen & Haavisto, 2019).

3.2. Un sentiment d'insécurité lié aux risques d'agression

Le partage d'un transport avec des personnes inconnues peut par ailleurs être perçu comme une source d'inconfort dans la mesure où il nourrit un sentiment d'insécurité (Allinc et al., 2015). La menace serait en particulier issue d'un risque d'imprévisibilité de la part des autres voyageur.euse.s du wagon, d'attitudes débordantes, de pratiques de sociabilité déviantes, de comportements irrationnels ou encore de comportements suspects (Noble, 2019a). Horau & Cahour (2021b) révèlent par exemple que, dans un futur robot taxi autonome, des participant.e.s craignent diverses situations : vol d'un bagage, intrusion dans l'habitacle ou encore traversée dans un quartier jugé dangereux et non sécurisé. Lemonnier et al. (2021) précisent quant à elles que 77 % des participant.e.s déclarent spontanément ne pas se sentir en sécurité dans un train autonome de niveau 4, car personne ne leur viendrait en aide s'iels étaient agressé.e.s. C'est par exemple le cas dans les transports particulièrement confinés comme le métro où la présence d'individus perçus comme menaçants peut être considérée, d'après les travaux de Noble (2016), comme très anxiogène. D'autres travaux révèlent à ce titre que la présence de l'opérateur.trice à l'intérieur de la navette, même s'iel ne réalise pas d'actions, est rassurante et accroit le sentiment de sécurité à bord pour les voyageur.euse.s (Cahour et al., 2021; Karvonen et al., 2011; López-Lambas & Alonso, 2019; Noble, 2019b; Salonen, 2018; Salonen & Haavisto, 2019).

Il faut enfin noter que la réputation du service ou du territoire traversé joue un rôle non négligeable dans la crainte qui y est associé (Adelé, 2022). L'état des stations et gares traversées, mais aussi de l'habitacle, contribue également à rassurer ou à inquiéter les utilisateur.trice.s des transports (ibid.) Hoarau & Cahour (2021c, p. 126-127) soulignent à ce titre que 35 % des personnes interrogées craignent un manque de propreté (saleté, mauvaises odeurs…) dans le taxi-robot, crainte qui pourrait aller jusqu'au refus de monter à bord du véhicule de manière temporaire, voire définitive. Les autrices précisent que ce manque de propreté peut être associé, pour au moins une participante, à l'absence du chauffeur. Noble (2019c) affirme de son côté que l'aspect sale et dégradé des RER parisiens alimente le sentiment d'insécurité des voyageur.euse.s, notamment parce qu'il sous-entend l'absence de personnel humain (pour prendre soin de l'espace).

3.3. L'absence de premiers secours en cas de besoin

L'absence de personnel de bord est également associée à l'impossibilité de recevoir les premiers soins en cas d'urgence médicale. Karnoven et al. (2011) précisent que la gestion des malaises de voyageur.euse.s constitue une activité à part entière des conducteur.trice.s de métro, tandis que d'autres auteur.trice.s montrent que le malaise d'un voyageur sans personnel à bord pour le gérer peut constituer une véritable source d'inconfort projeté (Hoarau & Cahour, 2021a; Lemonnier & Adelé, 2021). D'après l'étude d'Hoarau et Cahour (2021a), 68,8 % des personnes interrogées souhaiteraient arrêter le robot taxi partagé s'iels rencontrent cette situation. Certain.e.s ont « peur » tandis que

[8] Le Contexte Opérationnel définit dans quelles conditions le système a été conçu pour permettre l'automatisation de la conduite. Il permet donc de spécifier les conditions contextuelles au sein desquelles le système peut évoluer de manière autonome (Labrogère, 2018).

d'autres évoquent la « panique » ou la difficulté à savoir quelle attitude adopter. Au-delà de la crainte d'être témoin de ces situations d'urgence, les voyageur.euse.s se projettent également comme susceptibles d'être elleux-mêmes victimes de non-assistance (ibid.). Ainsi, des individus — les populations âgées notamment — sont parfois amenés à renoncer aux transports partagés sans personnel de bord (le métro par exemple) pour privilégier le bus traditionnel, du fait de la présence d'un.e conducteur.trice proche à son bord (Tillous, 2014).

3.4. Le risque sanitaire

Fischoff et al. (2004) ont par ailleurs expliqué que les évènements inhabituels venaient remettre en cause les habitudes de transport et incitaient les personnes à questionner, voire à réévaluer leurs pratiques de transport. La crise du Covid-19 témoigne de ces réajustements. La perception du risque sanitaire, survenue en 2019 avec la crise, a en effet influé sur les pratiques de transport collectifs (Currie et al., 2021 ; Kłos-Adamkiewicz & Gutowski, 2022). Plusieurs études ont montré que les individus privilégiaient leur voiture personnelle plutôt que les transports publics afin d'éviter la proximité avec d'autres usager.e.s (Eisenmann et al., 2021; Spitz et al., 2021).

3.5. Le risque terroriste

De même, la crainte du risque terroriste survient plus nettement après la survenue en France d'attentats (IAU-IDF, 2015). Des auteur.trice.s identifient la crainte d'un attentat ou d'une prise d'otage, évoquée par certains sujets, tout en rappelant que les entretiens se déroulaient quelques jours après des attaques terroristes en France (Hoarau & Cahour, 2021a). Le piratage informatique (hacking), enfin, est mentionné par les participant.e.s interrogé.e.s (Lemonnier & Adelé, 2021). Lorsque cela était mentionné, les personnes se questionnent sur l'impact d'un piratage sur un train autonome et évoquent la notion de terrorisme numérique.

4. DISCUSSION : DOCUMENTER LES EMOTIONS POUR MIEUX COMPRENDRE L'ACCEPTABILITE DES TRANSPORTS AUTONOMES

Étudier le sentiment d'insécurité des voyageur.euse.s dans les transports partagés autonomes permet finalement de questionner la capacité des territoires à développer, dans le contexte actuel de changement climatique, de nouvelles formes de transport. La question de la sécurité reste aujourd'hui fortement ancrée sur le plan de la fiabilité technique et ne s'intéresse que partiellement aux ressentis réels des voyageur.euse.s. Or, différentes craintes sont évoquées dans la littérature. La peur de l'agression, l'absence de premiers soins en cas d'urgence médicale, la gestion des situations routières non prévues ou encore le risque sanitaire ou terroriste.

Ces appréhensions, préalables aux nouveaux modes de transport partagés, sont aujourd'hui renouvelées par l'absence de personnel de bord. Or, les entreprises de transports en commun continuent depuis les années 1990 d'économiser sur la main-d'œuvre, en faisant finalement disparaître le principal élément efficace de réassurance du point de vue des voyageur.euse.s : la présence du personnel de bord (Kennedy, 2008; Noble, 2016), personnel perçu comme susceptible de temporiser les conflits, d'intervenir en cas d'agression ou d'urgence médicale ou encore de pallier un dysfonctionnement technique, voire un acte terroriste (par exemple, en assurant l'évacuation des voyageur.euse.s). Des études rappellent ainsi que si le personnel de bord n'est pas a priori chargé de la sécurité des voyageur.euse.s, il est vecteur de réassurance pour ces dernier.e.s (Karvonen et al., 2011; Noble, 2019c). L'arrivée des trains autonomes réactualise donc les questions autour de l'(in)sécurité perçue. Les voyageur.euse.s utiliseront-iels ces nouveaux types de transport, sans conducteur.trice ni personnel de bord ? S'y sentiront-iels en sécurité ?

Ces questions méritent d'être posées dans la mesure où le sentiment de crainte, d'inquiétude et de peur peut aujourd'hui influer sur la mobilité des individus (Ceccato & Loukaitou-Sideris, 2022;

Nourani et al., 2020). Barjonet et al. (2010) soulignent ainsi que l'humain s'adapte aux risques perçus en évitant par exemple certaines lignes, en opérant des détours, en choisissant des horaires spécifiques, voire en renonçant à leur mobilité. Lorsque les contraintes sont trop fortes et qu'elles n'ont pas le choix de prendre certains transports, les personnes effectueront le déplacement « malgré la peur, mais au détriment de la santé mentale de l'individu qui se sentira confronté à des éléments stressants. » (ibid.) On voit donc bien que le sentiment d'insécurité peut, s'il n'est pas traité en amont de la conception, mettre à mal le succès des nouveaux modes de transport autonome.

Aussi, si l'on considère que toute introduction d'un nouvel instrument (ici, le nouveau mode de transport) doit amener à questionner son acceptabilité par les futur.e.s utilisateur.trice.s, il parait nécessaire de comprendre quelles impressions et sentiments sont impliqués. La littérature a montré que la capacité à contrôler son environnement permettait d'augmenter le sentiment de faire face aux risques (Fischhoff et al., 1978; Burton-Jeangros, 2004; Polère et al., 2004). Quels dispositifs peuvent donc être mis en place pour augmenter le sentiment de sécurité des voyageur.euse.s ? De nombreuses pistes sont avancées dans la littérature, telle que les interphones d'urgence, la vidéosurveillance et la connectivité (Kennedy, 2008; Labbé, 2018). La mise en place d'opérateur.trice.s distant.e.s est également évoquée comme une réponse pertinente pour rassurer les voyageur.euse.s, d'autant plus qu'elle participe à la création d'emplois dans le secteur ferroviaire. Lemonnier et al. (sous presse) mettent néanmoins en évidence les doutes des citoyen.ne.s sur l'efficacité présumée de la supervision à distance. Plusieurs limites sont effectivement soulignées dans la littérature : d'abord, l'opérateur.trice – derrière ce dispositif – pourrait tarder à répondre ou à arriver sur les lieux et donc ne pas empêcher une potentielle agression (Kennedy, 2008; Scoliège et al., 2021). De plus, les boutons d'urgence pourraient être vandalisés et donc rapidement devenir inutilisables (ibid.). Il n'existe pas, à notre connaissance, d'études publiées sur l'utilisation (la fréquence, les conditions d'usage…) de ce type de dispositifs. D'autre part, si la plupart de ces pistes de dispositifs sont validées par les voyageur.euse.s elleux-même dans les enquêtes de sondage, elles ne sont pas systématiquement insérées dans les pratiques réelles.

Enfin, l'examen de la littérature montre l'intérêt de documenter le sentiment de peur suscité par les transports en commun, dès lors que la présence du personnel à bord est supprimée. Or, si l'on considère que l'introduction d'un nouvel instrument (ici, le nouveau mode de transport) transforme l'activité et peut conduire à réactualiser des sentiments d'insécurité déjà existants dans l'usage des transports actuels, nous pensons qu'il peut faire naître en creux d'autres émotions de confort ou d'inconfort, de plaisir ou de déplaisir. Il parait alors important de comprendre et de documenter ces autres aspects qui influeront sur les conditions d'appropriation d'un nouveau type de transport. Penser l'usage de ces dispositifs comme un processus d'appropriation au long cours permettra notamment de comprendre comment les expériences vécues et le passé incorporé façonnent au cours du temps la représentation de l'espace public et des instruments mis à disposition des citoyen.ne.s. Des auteur.trices propose ainsi de documenter les représentations sociales des voyageur.euses (Wahlström, 2017, Adelé, 2022) afin d'appréhender les systèmes de connaissances, de croyances et de valeurs à partir desquels sont guidés les choix modaux.

5. REMERCIEMENTS

Cette revue de littérature a été menée dans le cadre d'un projet sur les trains autonomes et a été financée par le département Sciences Économiques et Sociales et l'école Télécom Paris.

6. BIBLIOGRAPHIE

Advancing Public Transport. (2022). *World metro figures*. https://www.uitp.org/publications/world-metro-figures/

Adelé, S. (2022). Vécu du trajet et choix d'itinéraire: Une approche psychosociale, In : Alba, M., Dargentas, M., & Fraïssé, C. (Eds) *Représentations sociales des espaces de vie*.

Allinc, A., Cahour, B., & Burkhardt, J. M. (2015, July). Psychological comfort and discomfort in transport modes. In *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics 2015* (pp. 1-3).

Barjonet, P., Gezentsvey, M., & Mores, C. (2010). Perception des risques et choix du mode de transport. Approche conceptuelle et modélisation prédictive. *Flux*, 3, 19-32.

Burton-Jeangros, C. (2004). *Cultures familiales du risque*. Anthropos Paris.

Cahour, B., Hoarau, M., & Rossi, A. (2021). Sharing an autonomous taxi without a driver through Guided Imaginary Projection to identify sources of (dis)comfort. In: Black, N.L., Neumann, W.P., Noy, I. (eds) *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*, *219*, 631-638. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74602-5_87

Cahour, B., Salembier, P., & Zouinar, M. (2016). Analyzing lived experience of activity. *Le travail humain*, *79*(3), 259-284.

Ceccato, V., & Loukaitou-Sideris, A. (2022). Fear of sexual harassment and its impact on safety perceptions in transit environments: A global perspective. *Violence against women*, *28*(1), 26-48.

Currie, G., Jain, T., & Aston, L. (2021). Evidence of a post-COVID change in travel behaviour–Self-reported expectations of commuting in Melbourne. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 153, 218-234.

Eisenmann, C., Nobis, C., Kolarova, V., Lenz, B., & Winkler, C. (2021). Transport mode use during the COVID-19 lockdown period in Germany: The car became more important, public transport lost ground. *Transport policy*, *103*, 60-67.

Fischhoff, B., De Bruin, W. B., Perrin, W., & Downs, J. (2004). Travel risks in a time of terror: Judgments and choices. *Risk Analysis: An International Journal*, *24*(5), 1301-1309.

Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., & Combs, B. (1978). How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. *Policy sciences*, *9*(2), 127-152.

Fraszczyk, A., Brown, P., & Duan, S. (2015). Public perception of driverless trains. *Urban Rail Transit*, *1*(2), 78-86.

Fraszczyk, A., & Mulley, C. (2017). Public perception of and attitude to driverless train: A case study of Sydney, Australia. *Urban Rail Transit*, *3*(2), 100-111.

Hoarau, M., & Cahour, B. (2021a). Partage d'un robot-taxi autonome lors d'un trajet par projection imaginaire guidée : Quelles sources de confort et d'inconfort dues à l'absence de chauffeur? *Onzième colloque de Psychologie Ergonomique EPIQUE 2021*, 122.

Hoarau, M., & Cahour, B. (2021b). *SOURCES DE CONFORT/INCONFORT À BORD D'UN ROBOT-TAXI PARTAGÉ : PROJECTION DANS L'USAGE D'UN SERVICE* (p. 121) [RAPPORT DE FIN DE RECHERCHE P.F.A.]. Telecom Paris. UMR CNRS i3. Institut Polytechnique de Paris.

IAU-IDF. (2015). *Victimation et sentiment d'insécurité en Île-de-France. Tome 1 : Disparités selon les catégories de populations (enquête 2015)* (p. 51). https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_1362/victimation2015-tome1.pdf

Karvonen, H., Aaltonen, I., Wahlström, M., Salo, L., Savioja, P., & Norros, L. (2011). Hidden roles of the train driver : A challenge for metro automation. *Interacting with computers*, *23*(4), 289-298.

Kennedy, D. (2008). *Personal security in public transport travel in New Zealand: Problems, issues & solutions*.

Kłos-Adamkiewicz, Z., & Gutowski, P. (2022). The outbreak of COVID-19 pandemic in relation to sense of safety and mobility changes in public transport using the example of Warsaw. *Sustainability,* 14(3), 1780.

Kouabénan, D. R., Cadet, B., Hermand, D., & Sastre, M. T. M. (2007). Chapitre 1. Risque et perception du risque dans l'activité. In *Psychologie du risque* (p. 15-27). De Boeck Supérieur.

Labbé, J. (2018). *La Marche exploratoire pour la sécurité des femmes dans les alentours des stations de transport en commun*. https://escholarship.mcgill.ca/concern/papers/8p58pd14j

Labrogère, P. (2018). Véhicules autonomes : L'apport des essais virtuels dans la stratégie de validation des systèmes de conduites automatisés. *SystemX*. https://blog.irt-systemx.fr/vehicules-autonomes-lapport-des-essais-virtuels-dans-la-strategie-de-validation-des-systemes-de-conduites-automatises/

Lahire, B. (2005). *Portraits sociologiques : Dispositions et variations individuelles*. Armand Colin.

Lahire, B. (2012). *Monde pluriel. Penser l'unité des sciences sociales*. Média Diffusion.

L'Allain, C., Caroly, S., Drais, E., & Witschger, O. (2015). Concevoir la prévention d'un risque émergent : Une démarche fondée sur les représentations et les activités. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, *17-1*.

Lemonnier, A., & Adelé, S. (2021). Génération spontanée et provoquée d'idées relatives au train autonome à différents niveaux d'automatisation, une étude pilote. *Actes de Epique 2021, 11ème Colloque de Psychologie Ergonomique*, 130-136. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03318022/document

Lemonnier, A., Adelé, S., & Dionisio, C. (sous presse). *Acceptability of autonomous trains with different Grades of Automation by potential users: A qualitative approach*. Travel Behaviour and Society.

Lenz, B., Fraedrich, E.-M., & Cyganski, R. (2016, décembre 10). Riding in an autonomous car: What about the user perspective? *Smart Transportation*. Hongkong Society for Transportation Studies (HKSTS) 2016, Hongkong. https://www.researchgate.net/publication/306118664_Riding_in_an_Autonomous_Car_What_About_the_User_Perspective

López-Lambas, M. E., & Alonso, A. (2019). The driverless bus: An analysis of public perceptions and acceptability. *Sustainability*, *11*(18), 4986.

Maline, J., & Pretto, J. (1994). *Simuler le travail : Une aide à la conduite de projet*. Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail.

Noble, J. (2016). L'insécurité personnelle et ses variations : Pour une analyse dispositionnelle. *Déviance et Société*, *40*(3), 251-272.

Noble, J. (2019a). 10. La diversité des profils d'inquiets et de sécures. In *Comprendre le sentiment d'insécurité des jeunes dans les transports franciliens* (p. 197_213). Médecine & Hygiène. https://www-cairn-info.accesdistant.bu.univ-paris8.fr/comprendre-l-insecurite-personnelle--9782880494537-page-197.htm

Noble, J. (2019b). Comprendre l'insécurité personnelle. Le sentiment d'insécurité des jeunes dans les transports franciliens. *Lectures, Publications reçues*.

Noble, J. (2019c). Les générateurs microsociaux. In : Noble (Ed) *Comprendre l'insécurité personnelle* (Médecine&Hygiène, p. 105-131). https://www-cairn-info.inshs.bib.cnrs.fr/comprendre-l-insecurite-personnelle--9782880494537-page-105.htm

Nordhoff, S., Van Arem, B., Merat, N., Madigan, R., Ruhrort, L., Knie, A., & Happee, R. (2017). User acceptance of driverless shuttles running in an open and mixed traffic environment. *12th ITS European Congress*, 19-22. https://www.researchgate.net/publication/317497564_User_Acceptance_of_Driverless_Shuttles_Running_in_an_Open_and_Mixed_Traffic_Environment

Nourani, F., Antonello, S. L., Govone, J. S., & Ceccato, V. (2020). Women and LGBTI youth as targets: Assessing transit safety in Rio Claro, Brazil. In *Crime and Fear in Public Places* (p. 176-193). Routledge.

Pastré, P. (2011). Chapitre 4. Sujet capable et construction identitaire. In : Pastré (Ed) *La didactique professionnelle* (p. 117-148). Presses Universitaires de France; Cairn.info. https://www.cairn.info/la-didactique-professionnelle--9782130585466-p-117.htm

Piao, J., McDonald, M., Hounsell, N., Graindorge, M., Graindorge, T., & Malhene, N. (2016). Public views towards implementation of automated vehicles in urban areas. *Transportation research procedia*, *14*, 2168-2177.

Polère, C., Decelle, S., & Mokhtari, A. (2004). Les représentations sociales des risques : Des rationalités multiples. *Millénaire,(en ligne),«http://www. millenaire3. com/uploads/tx_ressm3/syntheses_ cprisques. pdf»,(consulté le 13 octobre 2013)*.

Salonen, A. O. (2018). Passenger's subjective traffic safety, in-vehicle security and emergency management in the driverless shuttle bus in Finland. *Transport policy*, *61*, 106-110.

Salonen, A. O., & Haavisto, N. (2019). Towards autonomous transportation. Passengers' experiences, perceptions and feelings in a driverless shuttle bus in Finland. *Sustainability*, *11*(3), 19.

Scoliège, J., Barré, J., & Cabon, P. (2021). Conception d'un poste de supervision de véhicules autonomes par une démarche d'ergonomie prospective. *Actes des Doctoriales Epique 2021, 11ème Colloque de Psychologie Ergonomique*, 59. http://arpege-recherche.org/user/pages/06.activites/04.doctoriales/07.doctoriales-2021/Actes_Doctoriales%20ARPEGE-RJCE_2021.pdf#page=59

Spitz, H., Léger, P. D., & Sénécal, S. (2021). *Études de la perception des usagers de transport en commun en lien avec les mesures sanitaires mise en place pour faire face à la pandémie de la COVID-19 : Étude exploratoire longitudinale* [PhD Thesis]. HEC Montréal.

Tillous, M. (2014). Le renoncement comme forme de choix modal : L'abandon de l'usage du métro par les personnes vieillissantes. *RTS-Recherche Transports Sécurité*, *2014*(02-03), 101-119.

Vaillant, J. (2018). *Taxirail. Un train autonome pour sauver les petites lignes ferroviaires ?* [Journal]. https://www.letelegramme.fr/soir/taxirail-un-train-autonome-pour-sauver-les-petites-lignes-ferroviaires-04-01-2019-12160142.php

Wahlström, M. (2017). How to study public imagination of autonomous systems: the case of the Helsinki automated metro. *AI & SOCIETY*, 32, pp. 599-612.

Weill-Fassina, A., Rabardel, P., & Dubois, D. (1993). *Représentation pour l'action*. Octarès, Toulouse.

CL :*-Objectivation des situations de risque perçu pour concevoir un copilote-coach de conduite.*

Sabine Langlois[1], Arnaud Koustanai[2], Clara Gandrez[3], Jean-Guillaume Meyrignac[4], Henri Chajmowicz[5], Jean-Baptiste Haué[6] & Gérard Hernja[7]

[1]Renault Technocentre, Guyancourt ; sabine.langlois@renault.com

[2]Renault Technocentre, Guyancourt ; arnaud.koustanai@renault.com

[3]Renault Technocentre, Guyancourt ; clara.gandrez@renault.com

[4]Renault Technocentre, Guyancourt ; jean-guillaume.meyrignac@renault.com

[5]LAB / Renault, Boulogne-Billancourt ; henri.chajmowicz@lab-france.com

[6]LAB / Renault, Boulogne-Billancourt ; jean-baptiste.haue@lab-france.com

[7]Ecole de Conduite Française, ECF Services, Marseille ; gerard.hernja@ecf-services.fr

RÉSUMÉ

L'étude a pour objectif de concevoir un système d'alerte et de coaching destiné à inciter les conducteurs à adopter une conduite plus sereine et plus sécuritaire. Nous avons mené une expérimentation avec 12 participants roulant dans une zone susceptible de présenter des situations à risque. Les verbatims collectés après chaque situation de risque rapportée par les participants ont permis de qualifier la situation grâce à un score de risque perçu. Un prototype de coaching, basé sur des conseils élaborés avec un expert de l'Ecole de Conduite Française (ECF), a été évalué sous la forme d'un magicien d'Oz. Le risque perçu a ensuite été consolidé et objectivé par l'expert de l'ECF. Nous avons ainsi répertorié 43 situations de risque perçu qui ont été hiérarchisées selon leurs enjeux accidentels. Les conseils de coaching ont été dans la plupart évalués comme pertinents par les participants et ouvrent la voie vers la conception d'un système qui aiderait le conducteur volontaire à améliorer ses compétences de conduite pour devenir acteur de la sécurité.

MOTS-CLÉS

Activité de conduite, risque, coaching, objectivation, accidentologie

1. INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, des technologies de conduite automatisée sont développées. A ce jour, elles ne sont pas encore suffisamment matures pour assurer le contrôle du véhicule sans intervention humaine. Cependant, les systèmes de perception et d'analyse des situations de conduite peuvent d'ores et déjà s'avérer utiles pour informer le conducteur et l'aider dans ses prises de décision.

La conduite nécessite la gestion d'une grande diversité de situations qui peuvent se révéler complexes ou inattendues. La plupart des accidents de la route peuvent ainsi s'expliquer par une mauvaise anticipation des risques de la part du conducteur, et par des erreurs au niveau de la perception, de l'interprétation ou de la projection vers les états futurs de la situation, amenant à une conscience partielle ou erronée de la situation (Endsley, 2020 ; van Elslande, 2003). Un système basé sur l'identification de situations à risque qui viserait à guider le conducteur, voire à améliorer ses compétences, offre de nouvelles perspectives pour rendre la conduite plus confortable et aider le conducteur à adopter des comportements plus sécuritaires.

Pour y parvenir, le système doit être capable de transmettre au conducteur les informations dont il n'a pas nécessairement conscience pour identifier les situations à risque ou lorsqu'il comprend mal des

situations de conduite complexes, notamment dans le cas où des obstacles masquent la visibilité (Higelé & Hernja, 2008 ; Brenac, 2008 ; van Elslande et al., 2004). Par comparaison avec un enseignant de la conduite, un tel système peut aider le conducteur, non seulement en temps réel en guidant son attention, mais aussi après le trajet, en prodiguant des conseils sous forme de coaching. Le coach est celui qui accompagne pendant et à l'issue du voyage (Barreau, 2017) pour indiquer au conducteur comment se rapprocher d'une bonne conduite, telle que normée par le Référentiel d'éducation à une mobilité citoyenne (REMC, 2014).

Une étude a été menée sur route ouverte afin de concevoir un système d'alerte et de coaching destiné à aider le conducteur à améliorer sa conduite. Elle associe des chercheurs en ergonomie, en accidentologie, et un expert en analyse cognitive et pédagogie de la conduite de l'Ecole de Conduite Française (ECF). L'expérimentation a plusieurs buts : 1) Identifier sur un parcours donné des situations perçues comme risquées par les conducteurs et les objectiver ; 2) Tester des critères de priorisation de ces situations selon leurs enjeux accidentels grâce à la base VOIESUR (VOIESUR, 2015) ; 3) Evaluer la pertinence de conseils de coaching apportés après chaque situation de risque perçu.

2. METHODE

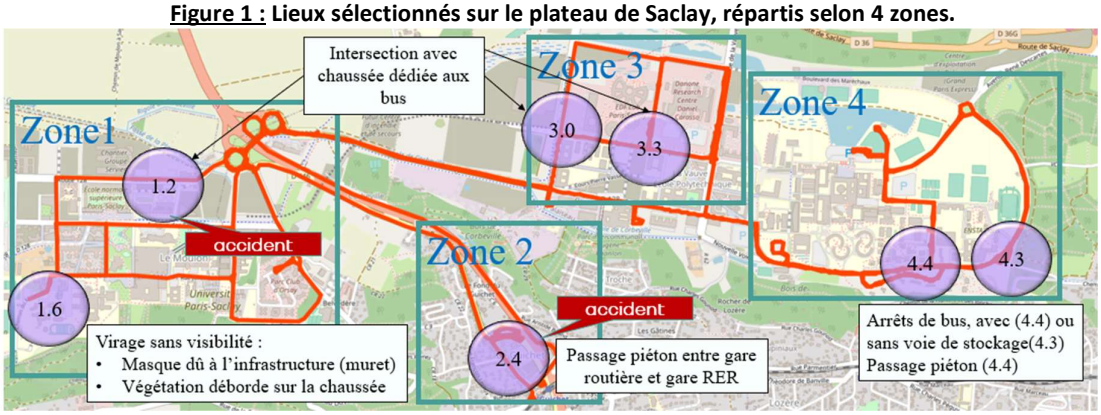
2.1. Participants

L'étude a été menée en juin 2022 avec une Renault Zoé équipée de capteurs pour collecter les données de conduite. Au total, 12 salariés ont été recrutés (4 femmes et 8 hommes ; âge entre 29 et 57 ans / *M* = 46 ans ; ancienneté de permis entre 5 et 38 ans / *M* = 24 ans). Ils avaient une faible connaissance de la zone étudiée pour limiter la possibilité d'anticiper les risques. Compte tenu de leur profession, ils connaissaient et utilisaient souvent les aides à la conduite. La majorité (10/12) utilisait une voiture au moins une fois par semaine.

2.2. Parcours

L'expérimentation a été réalisée de jour, sur la zone d'activités de Saclay, utilisée par le projet SAM (Sécurité et Acceptabilité de la Mobilité autonome) qui avait identifié des lieux d'intérêt. La Figure 1 représente les lieux sélectionnés. Un accident est survenu dans deux d'entre eux entre 2011 et 2020.

Figure 1 : Lieux sélectionnés sur le plateau de Saclay, répartis selon 4 zones.



Le plateau de Saclay dispose de nombreuses voies de circulation (voies de bus, pistes cyclables, zones piétonnières). La présence d'un campus avec des infrastructures sportives, commerces, entreprises, génère potentiellement un trafic piéton et deux roues important. Lors de l'expérimentation, les multiples intersections et le sens de circulation choisi généraient des situations nécessitant une anticipation et une attention du conducteur. La météo était favorable, créant des conditions de circulation équivalentes pour tous les participants.

2.3. Procédure

Chaque session de test commençait par une familiarisation avec le véhicule durant une vingtaine de minutes. Le participant était ensuite guidé par l'expérimentateur tout au long du trajet choisi pour relier les différents lieux d'intérêt. Il était demandé au participant de conduire comme à son habitude et de signaler à voix haute s'il ressentait un risque au passage d'un lieu d'intérêt ou de tout autre point du trajet. Afin de limiter l'effet d'ordre, la moitié des participant commençait par la zone 1, l'autre moitié par la zone 3. Le lieu d'intérêt 3.0 donnait lieu à un arrêt systématique pour soumettre un questionnaire au conducteur afin qu'il en ait un aperçu et comprenne ce qui était évalué.

Chaque fois que le participant percevait un risque, un arrêt était effectué pour soumettre le questionnaire et apporter le coaching, grâce à la technique du magicien d'Oz : à partir du comportement observé pendant la situation, l'expérimentateur sélectionnait et délivrait oralement un conseil au participant, tel que « Pensez à réduire votre vitesse à l'approche d'un virage sans visibilité car il peut cacher d'autres usagers ». Il informait aussi le participant quand il était passé là où un accident avait eu lieu. Ce coaching avait été élaboré avec l'expert de l'ECF à partir d'une revue des risques présents sur le trajet pour adapter les conseils habituellement donnés par des enseignants de la conduite aux conducteurs tant novices qu'expérimentés. Les conseils étaient formulés de telle sorte que le conducteur puisse les généraliser à des situations similaires.

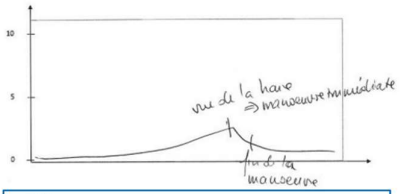
2.4. Identification des situations, mesure du risque perçu et objectivation du risque pris

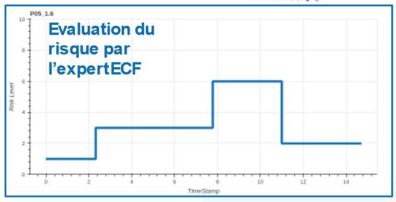
L'ensemble des situations vécues par les participants ont été systématiquement documentées puis évaluées selon les éléments listés dans la figure 2.

Figure 2 : Extrait du questionnaire du participant P05 (fond vert) au lieu d'intérêt 1.6 (photo). Evaluation par l'expert de l'ECF et par le chercheur en accidentologie (encadrés bleus).

1- Description de l'expérience vécue Elément ayant attiré l'attention, moment le plus intense		La haie qui débordait dans le virage, car on est obligé de violer une règle (franchir la ligne) si on ne veut pas frotter le véhicule
2-Description du moment le plus intense		Quand on est passé à côté de la haie et que j'ai décidé de franchir la ligne blanche
2- Evaluation du moment le plus intense Echelle de Likert : 1 Pas du tout d'accord / 2 Plutôt pas d'accord / 3 Plutôt d'accord / 4 Tout à fait d'accord	Confort	4
	En danger	1
	Craint qu'une collision survienne	1
	En manque de contrôle de la situation de conduite	1
	Incertain de pouvoir contrôler mon véhicule	1
	Incertain de ce que pourrait faire un autre usager de la route.	1
3-Evaluation du niveau d'attention : De 0 = attention neutre en conduite à 10 = mon attention a été très fortement sollicitée « Comparé à une situation normale, de combien cet élément a attiré votre attention (au moment le plus intense) »		2
4-Evaluation du niveau émotionnelle : De 0 = état neutre en conduite à 10 = émotion très forte « Comparé à une situation normale, pouvez-vous indiquer le niveau d'intensité émotionnelle (au moment le plus intense) ».		0
5-Evaluation du risque de la situation Echelle de Likert : 1 Très peu risqué / 2 Plutôt pas risqué / 3 Plutôt risqué / 4 Très risqué		2
Quelles étaient les conséquences redoutées		Véhicule en face
pictogramme VOIESUR n° 103		
7-Evaluation de la pertinence du coaching : Echelle de Likert : 1 Très peu pertinent / 2 Plutôt pas pertinent / 3 Plutôt pertinent / 4 Très pertinent « Avez-vous trouvé le conseil pertinent ? »		(pas de conseil donné)

6-Evolution du risque perçu :
Représentation graphique d'une courbe décrivant l'évolution du risque en fonction du temps et explicitant la cause des points d'inflexion.





Le participant était invité à commenter ses évaluations pour que ses verbatims permettent de : 1) Identifier la conscience qu'il s'était construit de la situation (objets qu'il avait perçus, ce qu'il avait compris de la situation, ce qu'il avait anticipé) ; 2) Décrire les ressorts de son comportement de conduite (décisions prises, éventuelles hésitations) et les événements qu'il redoutait.

Le score de risque perçu était calculé en additionnant les évaluations des éléments 2 à 5, ramenées sur une échelle de 1 à 4, inversées si besoin (item « Confort »). Ce score, de valeur maximale égale à 36, était d'autant plus élevé que l'expérience vécue était négative / le risque perçu important.

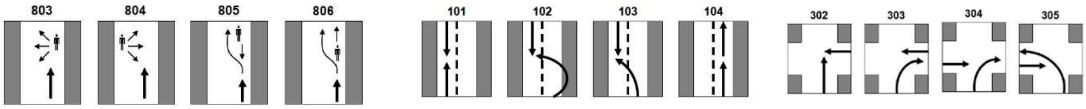
Pour toutes les situations relevées, l'expert de l'ECF a objectivé le risque pris à chaque instant par le conducteur, selon une échelle de 1 à 10. Pour cela, il avait préalablement réalisé le parcours. Il s'était ensuite appuyé sur les vidéos enregistrées (scène extérieure, pieds, visage du conducteur), sur les données véhicule (vitesse, angle volant, enfoncement pédale de frein et d'accélération, clignotant), ainsi que sur le vécu des participants. Certains éléments de comportement étaient tout particulièrement examinés : le conducteur prenait-il de l'information sur son environnement ? Était-il prêt à agir (e.g., pied au-dessus du frein) ? A quelques exceptions près, l'expert ECF a consolidé le ressenti du risque perçu par les participants, comme dans le cas illustré dans la figure 2.

2.5. Système de classification des accidents

Un des objectifs de l'expérimentation était de catégoriser et hiérarchiser les situations à risque identifiées. Pour analyser les événements redoutés par les participants, le système de classification des accidents issu du projet VOIESUR a été utilisé. Cette base de données d'accidents de la route regroupe un échantillon représentatif d'accidents corporels (i.e., entraînant au moins une blessure chez l'un des impliqués) sur une année de référence (2011), établi à partir de l'intégralité des accidents mortels et d'un tirage aléatoire d'un accident non mortel sur 20, soit au total environ 6500 accidents. Chaque accident est caractérisé par son environnement, les véhicules et usagers impliqués, le choc et les lésions.

Les configurations accidentelles sont illustrées par un pictogramme représentant les manœuvres effectuées par les impliqués ayant produit l'accident (Figure 3). Elles sont organisées en grandes catégories appelées classes (par exemple, classe 100 pour les accidents entre deux véhicules en section courante, 300 pour les accidents en intersection, 800 pour les accidents impliquant un piéton).

Figure 3 : Exemples de pictogrammes VOIESUR.



Pour chaque situation à risque remontée par un participant, l'événement redouté a été décrit par le pictogramme correspondant, qui représente généralement plusieurs véhicules. L'enjeu accidentel a été calculé en sélectionnant uniquement les accidents corporels pour les véhicules dans la position des participants. Par exemple, pour une configuration accidentelle 103 (Figure 3), les participants ont craint de sortir de leur voie et d'être confrontés à un véhicule venant de face (Figure 5, lieu 1.6). L'enjeu accidentel a été calculé en ne conservant que les victimes d'accidents en configuration 103 pour lesquels un véhicule particulier jouait le rôle du véhicule sortant de sa voie (et non celui du véhicule venant de face). L'enjeu accidentel associé à chaque lieu d'intérêt a ainsi pu être calculé en cumulant les événements redoutés par les participants ayant ressenti un risque en ce lieu.

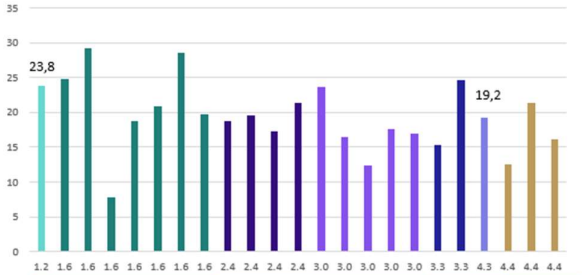
3. RESULTATS

3.1. Perception du risque par participant

Suivant les participants, un risque a été ressenti entre 2 et 6 fois durant le trajet. Au total, 46 situations ont été recueillies, dont 23 dans les lieux d'intérêt et 23 autres risques liés au trafic (e.g., véhicule caché en sortie de parking, camion garé sur la voie obligeant à dépasser sans visibilité).

Les participants ont été plus nombreux (*N* = 7) et ont donné un score de risque plus élevé (*M* = 21,4) dans le lieu d'intérêt correspondant au virage serré masquant un obstacle (1.6 ; cf. Figure 4). C'était aussi pour 1.6 que le score individuel était le plus élevé (29,2), si on met à part le lieu 1.2 où le risque n'avait été ressenti que par un seul participant. En 1.6, la disparité des scores pouvait s'expliquer par les différentes conditions de trafic. Par exemple, un participant avait donné un score de 20,8 car il avait ressenti du risque lié à l'arrivée d'une camionnette à contresens tandis que qu'un autre avait donné un score de 7,8 car il était seul dans la situation. La disparité pouvait aussi s'expliquer par les différences de ressenti inter-individuel. Par exemple, un participant seul sur la route évoquait le risque de collision à la fois avec un véhicule en face et derrière (« incertitude sur la trajectoire et vitesse d'un véhicule venant en face », « piler est problématique s'il y a quelqu'un derrière »), tandis qu'un autre lui aussi seul sur la route estimait contrôler la situation (« je savais quoi faire »).

Figure 4 : Nombre de participants et score de risque perçu par participant et par lieu d'intérêt.



Nb participants ayant ressenti du risque par lieu d'intérêt	1	7	4	5	2	1	3
Moyenne(si Nb >1)		21,4	19,2	17,4	20		16,7

Le nombre de participants et le score pour l'intersection avec une voie de bus (3.0) s'explique en partie par le protocole qui incitait à s'arrêter après ce lieux d'intérêt pour découvrir le questionnaire. Globalement, le score de risque perçu dans les intersections (1.2, 3.0, 3.3) reflète la crainte de prendre un sens interdit, en l'occurrence une voie dédiée au bus.

3.2. Synthèse par lieu d'intérêt : problèmes rencontrés

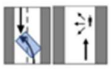
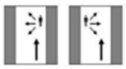
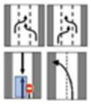
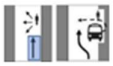
Les risques rencontrés sur chaque lieu d'intérêt ont été consolidés par l'analyse des verbatim collectés, en cumulant le cas échéant le ressenti des participants. Cela a permis de décrire les événements que les conducteurs redoutent (représentés sur la figure 5 par les pictogrammes VOIESUR, sur lesquels nous ajoutons un rectangle bleu pour identifier le véhicule du participant), les violations du code de la route qu'ils craignaient de faire, les problèmes qu'ils avaient rencontrés. Nous en avons déduit les besoins auxquels répondre pour réduire le ressenti de risque. Nous avons complété par l'enjeu accidentel dont le calcul est expliqué au paragraphe 3.3.

L'analyse des verbatims nous a amenés à différencier deux catégories de lieux d'intérêt.

Une catégorie correspond aux lieux où les conducteurs ont pris des risques, en traversant une ligne blanche (1.6) ou en s'approchant de la ligne pour envisager un dépassement (4.3), ou encore en ayant une vitesse contextuellement inadaptée du fait du masque à la visibilité (1.6 où le masque était créé par un muret, 4.4 où le masque était créé par le bus) ou du fait de la présence de piétons prêts à traverser (2.4).

Une autre catégorie correspond aux lieux où les conducteurs ont été troublés par la complexité de l'infrastructure. Ainsi, 1.2, 3.0, 3.3 correspondent à des intersections avec présence d'une chaussée dédiée au bus, située à droite de la route, autrement dit là où le conducteur était tenté de spontanément se placer. Avant de franchir l'intersection, les conducteurs s'étaient imaginés dans une situation de prise de risque (cf. étape de projection du modèle d'Endsley / pronostic du modèle de Van Elslande). Autrement dit, à ce stade, la prise de risque n'était pas avérée.

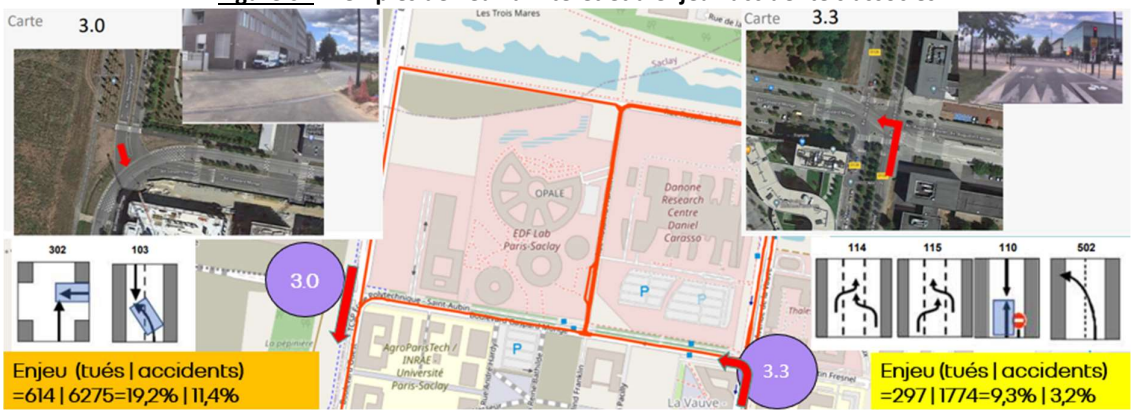
Figure 5 : Synthèse par lieu d'intérêt ayant suscité un ressenti de risque chez au moins deux participants.

Lieu d'intérêt	1.6	2.4	3.0	3.3	4.4
Evénements redoutés	103, 803 	803, 804 	103, 302	114, 115, 110, 502 	842, 803 
Enjeu accidentel % tués | % accidents	16,3% | 6,1%	4% | 4,9%	19,2% | 11,4%	9,3% | 3,2%	2% | 1,2%
Violations du code de la route redoutées	Franchir une ligne blanche		Prendre un sens interdit	Prendre une voie de bus, prendre un sens interdit	Ne pas laisser la priorité au piéton qui s'apprête à traverser sur le passage piéton
Problèmes rencontrés	Voie étroite, largeur encore réduite par la végétation	Nombreux piétons, certains inattentifs	Ne pas savoir quelle voie prendre	Ne pas savoir quelle voie prendre	Difficile de prédire le comportement des piétons
	Devoir se déporter sur la voie en face alors qu'il y a un masque à la visibilité, i.e. sans savoir si un véhicule arrive face		Ne pas savoir si un bus peut arriver ou pas (le bus a-t-il un feu ?)	Devoir piler, avoir un comportement brusque pouvant induire une collision latérale, une collision avec le trottoir ou un véhicule	Ne pas voir le piéton à cause contrejour
	Ne pas savoir que c'est une route à double sens de circulation				
Besoins	Savoir que le virage masque un obstacle sur la route	Rappeler que les piétons ont la priorité	Savoir quelle voie prendre	Savoir quelle voie prendre	Détecter les piétons
	Conseil de ralentir compte tenu de l'absence de visibilité	Savoir que des piétons peuvent survenir de l'allée masquée à droite	Savoir qu'un bus n'arrive pas		Attendre que piétons et bus libèrent la chaussée
	Savoir si un véhicule arrive en face	Savoir que ces piétons risquent d'être nombreux et pressés (gares de bus et RER de part et d'autre de la rue)			Être alerté du risque potentiel de collision avec un piéton masqué par le bus

3.3. Synthèse par lieu d'intérêt : enjeu accidentel

Les enjeux accidentels pour chaque situation de conflits potentiellement accidentogènes redoutés sur les lieux d'intérêt sont présentés dans la figure 5. La figure 6 illustre le détail du calcul des enjeux accidentels sur deux lieux d'intérêt du parcours (3.0 et 3.3).

Figure 6 : Exemples de lieux d'intérêt et d'enjeux accidentels associés.



Au point 3.0, les participants avaient craint d'être confrontés à un autre véhicule traversant l'intersection en ligne droite comme eux (pictogramme 302) ou de perdre le contrôle et d'être confrontés à un autre véhicule venant de face (pictogramme 103). Au point 3.3, les participants avaient craint une sortie de route (pictogramme 502), de circuler en sens interdit (pictogramme 110) ou encore d'être accidentés dans une manœuvre de rabattement par eux-mêmes ou un autre usager (pictogrammes 114 et 116).

Un nombre de tués et d'accidents corporels a pu être associé à ces pictogrammes grâce à la base VOIESUR. Le lieu d'intérêt « porte » la somme des enjeux (en tués, en accidents) associés à chaque situation redoutée (confondue avec le pictogramme). Ces enjeux ont pu être rapportés au nombre global annuel moyen de tués (3200) et d'accidents corporels (55000) pour en déduire un poids (en %) du lieu d'intérêt en termes d'accidentologie.

3.4. Evaluation du coaching

Sur les 6 conseils prodigués aux participants relativement à un risque qu'ils ont pris, 3 ont été considérés comme très pertinents, 2 comme pertinents et 1 seul comme plutôt pertinent. Ces conseils sont synthétisés en Figure 7.

Figure 7 : Conseils donnés aux conducteurs et évaluation de leur pertinence.

Lieu d'intérêt	1.6	2.4
Conseil donné	Pensez à réduire votre vitesse à l'approche d'un virage sans visibilité car il peut cacher d'autres usagers	Pensez à réduire votre vitesse bien en amont d'un passage piéton, car des usagers pourraient traverser sans vous avoir vu
Nombre de fois énoncé	1	5
Evaluation de la pertinence	Plutôt pertinent	Très pertinent (3 participants), pertinent (2)

Les conseils ont été très bien acceptés dans leur globalité, les conducteurs ayant admis les erreurs qu'ils avaient commises, et trouvé les conseils utiles comme rappel pour une prochaine fois.

Les retours étaient davantage mitigés pour les informations relatives à une zone où un accident a eu lieu les 10 dernières années. En effet les conducteurs auraient préféré être prévenus en roulage en amont de la zone plutôt qu'en fin de trajet. De plus, leur indiquer la présence d'un accident sans ajouter d'information complémentaire pour éviter l'accident n'a pas été jugé comme pertinent.

4. DISCUSSION

4.1. Identifier et prioriser les situations où aider le conducteur

En tant que concepteur du système de copilote - coach, l'objectif est de s'appuyer sur l'expérimentation pour prioriser les situations les plus à risque. Le risque perçu par les participants (score), croisé avec le risque évalué par l'expert de l'ECF, permet effectivement d'identifier les situations où le risque perçu et le risque pris sont les plus importants. La limite est ici principalement liée aux conditions de roulages, sur un parcours limité qui nécessiterait d'être étendu (par exemple, autres routes, conditions météorologiques ou de nuit), et aux conducteurs dont les styles de conduite et l'intérêt pour des conseils de conduite peuvent varier.

Le calcul de l'enjeu accidentel, à partir des événements redoutés par les participants, permet de généraliser aux situations similaires, et de prioriser celles aux enjeux les plus élevés. Si la réduction de l'insécurité routière est un objectif en soi, le périmètre du système est plus vaste visant également à réduire le stress et l'inconfort dans des situations tendues mais pas nécessairement accidentogènes.

Pour répondre aux besoins du conducteur dans les situations ainsi retenues, le système doit posséder un certain nombre de fonctionnalités, par exemple détecter des piétons jusqu'à une certaine distance, connaître la position d'un arrêt de bus, etc. Certaines fonctionnalités exigent des technologies plus ou moins innovantes : ainsi savoir qu'un véhicule arrive en sens inverse, en 1.6, exige une connectivité véhicule-véhicule qui ne sera pas généralisée sur les véhicules de série avant plusieurs années.

En cumulant les priorités issues de l'expérimentation et l'estimation de l'effort technique à fournir pour mettre au point les fonctionnalités, il est possible d'alimenter le cahier des charges du système.

4.2. Besoin d'information / alerte à l'approche d'une situation complexe / risquée

Notre expérimentation permet d'identifier une catégorie de lieux où le conducteur imagine une potentielle prise de risque à l'approche d'une intersection complexe inconnue. Si le conducteur connaît le lieu, il est probable qu'il aura acquis par son expérience la capacité de prévoir sa trajectoire. Concrètement, dans les lieux d'intérêt 1.2, 3.0, 3.3, il saura qu'une chaussée est réservée aux bus et que la voie qui lui est dédiée est à gauche de cette chaussée. Cependant si le conducteur ne connaît

pas le lieu, il pourrait gagner à être aidé par une information apportée par le système à l'approche du lieu. Sa capacité d'anticipation serait renforcée et sa représentation de la situation à venir plus précise, autrement dit, il pourrait être « devant la voiture », comme un pilote, qui recherche à être « devant l'avion » (Amalberti, 2001). Grâce au système, le conducteur serait anticipatif et non plus réactif, si bien que ses performances de conduite seraient améliorées (Hollnagel et al., 2003).

Par ailleurs le système pourrait alerter le conducteur lorsqu'il prend un risque, par exemple lorsqu'il réalise une manœuvre hasardeuse (s'engager avec un manque de visibilité), ou lorsqu'il n'anticipe pas qu'un piéton qui peut surgir, souvent parce qu'il n'a pas conscience du risque (Higelé, Hernja 2008 ; Brenac, 2008). Dans ce dernier cas, l'alerte l'inciterait à mettre le pied sur la pédale de frein.

4.3. Enjeu pour le coaching

L'expérimentation confirme l'intérêt pour les conducteurs d'un coaching relatif au risque pris. Ce coaching serait consultable en fin de trajet. Il prodiguerait au conducteur des conseils pour améliorer son comportement (e.g., mettre son clignotant s'il a omis de le mettre dans la situation). La démarche est à poursuivre afin d'explorer la pertinence de conseils relatifs à d'autres risques.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons montré qu'une combinaison de méthodes permet d'expliciter, de mesurer à l'aide d'un score le risque perçu en conduite, d'objectiver le risque effectivement encouru en termes d'écart aux bonnes pratiques (par rapport au référentiel de bonne conduite), et de hiérarchiser les situations selon leurs enjeux accidentels.

Cette matière permet d'alimenter de futurs systèmes de copilotage de la conduite qui pourront informer le conducteur qu'il approche d'une zone complexe. Ces systèmes auront aussi pour vocation de réduire l'écart entre les risques perçus et risques effectifs en alertant le conducteur qu'il prend un risque. Cependant, pour dépasser la capacité limitée du conducteur à tenir compte d'une alerte lors d'une situation à risque, c'est sa responsabilisation grâce à l'aide qui lui sera proposée en fin de trajet par le coaching qui présente le potentiel le plus prometteur. Si la comparaison avec le moniteur d'auto-école se révèle fructueuse, les systèmes de coaching devront s'en différentier. Ils devront manifester une qualité pédagogique et didactique adaptée pour intéresser un conducteur réceptif, mais qui n'est pas en position d'apprenant, et maintenir sa motivation à progresser.

L'acceptabilité d'un tel copilote-coach sera à examiner de près, notamment pour les conducteurs assumant les risques qu'ils prennent ou se différentiant de la norme de « bonne conduite ». C'est alors une approche intégrant les aspirations individuelles et valeurs sociétales (cf. modèle GDE issu du projet européen GADGET, 1999), qui pourra étendre le périmètre à couvrir par ces systèmes pour faciliter au mieux la progression des conducteurs vers une circulation routière plus fluide et sûre.

6. BIBLIOGRAPHIE

Amalberti, R. (2001). La conduite de systèmes à risque (2ème éd). *Paris Presses*.

Barreau, P. « Le coaching : une forme d'accompagnement à part entière », I2D - Information, données & documents, vol. 54, no. 4, 2017, pp. 30-32.

Brenac, T. (2008). Insécurité routière des jeunes piétons. Processus d'accidents et stratégies de prévention. *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement. Territory in movement Journal of geography and planning*, (1), 14-24.

Endsley, M. R. (2020). Situation awareness in driving. *Handbook of human factors for automated, connected and intelligent vehicles. London: Taylor and Francis.*

Higelé, P., & Hernja, G. (2008). La compréhension des situations de conduit et les prises de risque chez les conducteurs novices jeunes, *Recherche, Transport, Sécurité*, 13-37.

Hollnagel, E., Nåbo, A., & Lau, I. V. (2003). A Systemic Model for Driver-in-Control. *Driving Assessment Conference*, *2*, Art. 2003. https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1101

REMC (2014). *Arrêté du 13 mai 2013 relatif au référentiel pour l'éducation à une mobilité citoyenne. Ministère de l'intérieur.* https://www.legifrance.fr

Siegrist, S. (1999). Résultats du projet européen GADGET. *Rapport pour le bureau de prévention des accidents, Berne, Suisse, 199 p.*

Van Elslande, P. (2003). Erreurs de conduite et besoins d'aide : une approche accidentologique en ergonomie. *Le travail humain*, *66*, 197-224. https://doi.org/10.3917/th.663.0197

Van Elslande, P., Fouquet, K., Michel, J. E., & Fleury, D. (2004). *Analyse approfondie de l'accidentologie en aménagements urbains : erreurs, facteurs et contextes de production*. 2004, 83p. hal-00546128.

VOIESUR (2015). Projet ANRT-11-VPTT-007. https://anr.fr/Projet-ANR-11-VPTT-0007

CC : Effet d'une phase de familiarisation sur les mesures subjectives dans une simulation de véhicule autonome en réalité virtuelle

Gabriel Nativel-Fontaine, Véronique Lespinet-Najib, Mathieu Chevrié, François Aïoun & Luciano Ojeda

Stellantis, Laboratoire IMS ; gabriel.nativel-fontaine@u-bordeaux.fr

Bordeaux INP Laboratoire IMS ; veronique.lespinet@ensc.fr

Bordeaux INP Laboratoire IMS ; mathieu.chevrie@u-bordeaux.fr

Stellantis ; francois.aioun@stellantis.com

Stellantis ; luciano.ojeda@stellantis.com

RÉSUMÉ

Nous décrivons ici les résultats issus d'une expérimentation dont l'objectif est de déterminer l'intérêt ou non d'une phase de familiarisation lors d'une simulation de passager d'un véhicule autonome en réalité virtuelle sur différentes dimensions subjectives : le sentiment de présence, l'acceptabilité, la confiance et le flow. La phase de familiarisation se présente ici sous la forme d'une phase de conduite en réalité virtuelle durant laquelle le sujet est acteur. Cette phase précède un trajet en tant que passager d'un véhicule en autonomie totale en réalité virtuelle. Notre hypothèse étant que l'engagement de la tâche induit par une phase de familiarisation impacteraient les mesures subjectives citées, utilisées pour évaluer le ressenti vis-à-vis du comportement d'un véhicule autonome. Deux groupes de participants ont été immergés dans la simulation en réalité virtuelle, l'un a été mis en situation de conduite du véhicule avant de devenir passager du véhicule en mode autonome. L'autre groupe a été mis directement en situation de conduite autonome en tant que passager. Nos résultats mettent en évidence qu'une phase de familiarisation agit sur un sentiment de présence plus élevé durant la simulation en tant que passager d'un véhicule autonome. La présence d'une phase de familiarisation n'a aucun impact sur la confiance, l'acceptabilité et le flow.

MOTS-CLÉS

Acceptabilité ; Véhicules autonomes ; Réalité virtuelle ; Engagement ; Immersion.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte de l'étude de l'automatisation des systèmes de conduite, la technologie de réalité virtuelle permet une confrontation aux systèmes de manière contrôlée avant leur implémentation en condition réelle. L'étude de concepts comme la confiance ou l'acceptabilité des véhicules autonomes passe par une confrontation des participants avec différents comportements dans des situations variées. L'analyse de ces concepts nécessite une évaluation subjective faite par le sujet qui doit avoir été engagé dans la tâche. L'engagement est défini par Dow (2007) comme « l'implication ou l'intérêt dans un contenu, une activité ou une expérience ». En réalité virtuelle, c'est un concept lié à ceux d'immersion et de présence, le sentiment d'être connecté à l'expérience de manière transparente (Dow et al., 2007). La communauté scientifique autour de la réalité virtuelle s'accorde sur le fait que le sentiment de présence implique un meilleur engagement (Lombard & Ditton, 2006). Dans un contexte de conduite, il a été montré l'intérêt d'ajouter une phase de familiarisation afin d'optimiser la performance et la confiance en l'automatisation lors d'une première utilisation d'un véhicule autonome en simulateur (Ebnali et al., 2020). L'objet des travaux que nous présentons ici a été

d'étudier l'intérêt ou non d'une phase de conduite utilisée comme phase de familiarisation dans une simulation en réalité virtuelle dans le cadre d'une analyse subjective sur le comportement d'un véhicule complètement autonome. Avec l'hypothèse que la phase de familiarisation provoquerait une augmentation de l'engagement, mesuré à travers le sentiment de présence ; nous avons évalué les variations des réponses à des questionnaires sur la confiance et l'acceptabilité du comportement du véhicule simulé entre des participants soumis à une période de familiarisation et un groupe contrôle uniquement soumis à un trajet en autonomie complète. Ces travaux sont effectués dans le cadre d'une thèse CIFRE, au sein de l'OpenLab Electronics & Systems for Automotive, une collaboration entre le laboratoire IMS (UMR CNRS 5218) et le groupe industriel Stellantis.

2. MATERIELS & METHODES

2.1. Recrutement & Participants

Au total 24 individus ont participé à notre expérimentation (cf. Tableau 1). Ils ont été recrutés sur la base d'une participation volontaire et sont âgés, en moyenne, de 27 ans. Ils avaient leur permis de conduire depuis 9 ans, en moyenne. 4 ont présenté des symptômes de cybercinétose et n'ont pas pu terminer l'expérimentation. Les réponses obtenues sur ces 4 participants étant incomplètes, elles ont été retirées de nos résultats finaux. Tous les participants ont signé un formulaire de consentement libre et éclairé quant à la récolte et au traitement des données issues de l'expérimentation.

***Tableau 6:** Tableau récapitulatif des caractéristiques démographiques pour chaque groupe de l'échantillon (Avec et Sans phase de familiarisation).*

		GROUPE AVEC (N=10)	GROUPE SANS (N=10)	TOTAL (N=20)
		Moyennes (écart-type)		
AGE		29,80 (13,95)	23,90 (2,42)	26,85 (10,20)
AGE PERMIS DE CONDUIRE		11,60 (14,39)	5,80 (2,53)	8,70 (10,48)
		Effectifs		
SEXE	Homme	7	8	15 (75%)
	Femme	3	2	5 (25%)

2.2. Matériel

Nous avons fait passer une série de questionnaires aux participants de l'expérimentation.

Questionnaires pré-test

- Questionnaire démographique (âge, genre, l'année d'obtention du permis de conduire etc.)
- Questionnaire de susceptibilité au cybermalaise (Freiwald et al., 2020) permet d'étudier la probabilité de survenu d'un cybermalaise en amont de l'expérimentation.

Questionnaires post-test

- Simulator Sickness Questionnaire (ou SSQ), version traduite en français (Bouchard et al., 2007), permet d'évaluer la présence des symptômes de cinétose après une expérience en simulateur.
- Questionnaire permettant de mesurer 4 dimensions liées à l'engagement dans notre tâche :
    - La **confiance** (O'Cass & Carlson, 2012)
    - L'**acceptabilité** (Venkatesh et al., 2003).
    - Le **sentiment de présence** (Witmer & Singer, 1998), dans une version traduite en français.
    - Le **flow** (Heutte & Fenouillet, 2010).

2.3. Protocole expérimental

Les participants remplissent en pré-test les questionnaires démographiques et de susceptibilité au cybermalaise. Ils sont ensuite placés dans un fauteuil de conduite équipé d'un volant et de pédales. On les équipe du casque de réalité virtuelle dans lequel on projette un environnement de simulation. La simulation a été développée sous Unity 2021.3.12. L'environnement est projeté dans un casque de réalité virtuelle HTC Vive Pro Eye. On explique aux participants que le véhicule dans lequel ils sont placés est un véhicule électrique, automatique doté de capacités d'automatisation. En mode autonome, ce véhicule est capable de se déplacer sans intervention humaine et conduit le sujet d'un point A à un point B sans danger.

Nous avons séparé les sujets en 2 groupes de façon aléatoire : Groupe « **Avec** » ou Groupe « **Sans** » familiarisation. Le groupe « **Avec** » démarre par une phase de familiarisation. Pendant cette phase de familiarisation, le sujet doit conduire le véhicule en mode manuel, à l'aide du volant et des pédales, et suivre un tracé GPS pendant environ 5 minutes. Arrivé à un certain point, le véhicule passe en mode autonome. Les actions du participant sur le véhicule n'ont alors plus d'effet. Le véhicule suit, de lui-même, un parcours GPS programmé, sur une durée de 5 minutes. Le groupe « **Sans** » démarre directement par la phase de mode conduite autonome de 5 minutes. Une fois le trajet terminé, les participants des deux groupes remplissent les questionnaires post-tests sur le cyber-malaise, la confiance, l'acceptabilité, la présence et le flow.

Notre protocole expérimental, décrit précédemment, est illustré par la Figure 1.

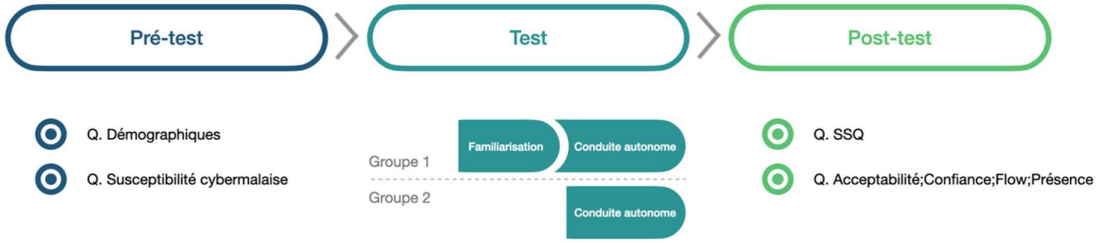


Figure 1 : Schéma résumant les trois principales phases de notre protocole expérimental. Q. = questionnaire

RESULTATS

L'analyse des résultats (Tableau 2), à l'aide du test des rangs signés de Wilcoxon, montre une différence significative entre le groupe « Avec » et le groupe « Sans » (Tableau 2) sur le score obtenu en sentiment de présence ($p = 0,04 < 0,05$) : ainsi le groupe « Avec » présente un sentiment de présence plus élevé que le groupe « Sans » (Figure 2).

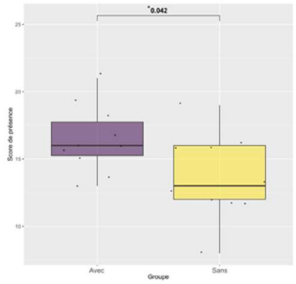
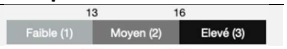


Figure 2 : Résultats obtenus dans les deux groupes « Avec » et « Sans » pour le score de sentiment de présence.

Aucune différence significative entre les deux groupes n'a été observée sur les scores de Confiance, de Flow et d'Acceptabilité. Comme le montre le Tableau 2, il est important de noter que si l'on s'intéresse

au degré d'importance sur ces mesures subjectives, on obtient des niveaux moyens à élevés pour l'acceptabilité, des niveaux moyens pour la confiance et des niveaux élevés pour le Flow et ceci indépendamment d'une phase de familiarisation ou non.

***Tableau 2 :** Tableau récapitulatif des résultats moyens obtenus pour chaque groupe de l'échantillon dans chaque modalité étudiée. ns = non significatif*

	Groupe « Avec »	Groupe « Sans »	Wilcoxon (p-value)	Interprétation des mesures selon leur degré d'importance
Présence	$16.5^{(3)}$	$13.7^{(2)}$	**0.04***	
Acceptabilité	$17.9^{(3)}$	$16.6^{(2)}$	ns	
Confiance	$7.8^{(2)}$	$6.6^{(2)}$	ns	
Flow	$6.9^{(3)}$	$7^{(3)}$	ns	

4. DISCUSSION & CONCLUSION

L'objectif de notre travail était d'évaluer l'intérêt ou non d'une phase de familiarisation en réalité virtuelle durant laquelle on demande aux participants de conduire un véhicule avant de les confronter à des situations en réalité virtuelle dans lesquelles le véhicule est complètement autonome. Notre hypothèse étant que la phase de conduite favoriserait le sentiment de présence ce qui aurait un effet sur les résultats obtenus à d'autres questionnaires subjectifs tels que ceux généralement utilisés pour mesurer confiance et ou l'acceptabilité des nouvelles technologies. La phase de familiarisation en réalité virtuelle semble favoriser le sentiment de présence chez nos participants lorsqu'ils sont dans un environnement virtuel à bord d'un véhicule autonome. En revanche, le degré d'acceptabilité, de confiance et de flow vis-à-vis d'un véhicule autonome ne sont pas infuencés par une phase de familiarisation et restent relativement important. Ce constat permet d'envisager des protocoles expérimentaux en réalité virtuel sur le véhicule autonome selon le concept que l'on souhaite étudier.

5. RÉFÉRENCES

Bouchard, S., Robillard, G., Renaud, P., & others. (2007). Revising the factor structure of the Simulator Sickness Questionnaire. *Annual review of cybertherapy and telemedicine*, *5*(Summer), 128-137.

Dow, S., Mehta, M., Harmon, E., MacIntyre, B., & Mateas, M. (2007). Presence and engagement in an interactive drama. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1475-1484.

Ebnali, M., Lamb, R., & Fathi, R. (2020). *Familiarization tours for first-time users of highly automated cars : Comparing the effects of virtual environments with different levels of interaction fidelity* (arXiv:2002.07968).

Freiwald, J. P., Göbel, Y., Mostajeran, F., & Steinicke, F. (2020). The cybersickness susceptibility questionnaire : Predicting virtual reality tolerance. *Proceedings of the Conference on Mensch Und Computer*, 115-118.

Heutte, J., & Fenouillet, F. (2010). Propositions pour une mesure de l'expérience optimale (état de flow) en contexte éducatif. *Proceedings of the 26e Congrès International D'actualité de la Recherche en Éducation et en Formation*, Genève.

Lombard, M., & Ditton, T. (2006). At the Heart of It All : The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, *3*(2), 0-0.

O'Cass, A., & Carlson, J. (2012). An empirical assessment of consumers' evaluations of web site service quality : Conceptualizing and testing a formative model. *Journal of Services Marketing*, *26*(6),

419-434.

Venkatesh, Morris, Davis, & Davis. (2003). User Acceptance of Information Technology : Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, *27*(3), 425.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments : A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *7*(3), 225-240.

2 Communications Longues (= CL) et

2 Communications Courtes (= CC)

CL : *Méta-analyse de l'acceptation exprimée sur les drones*

David Robin, Mario Andres Hernandez Lopezomoza & Philip Loucopoulos

Projet VIABLE, Capgemini Engineering, Blagnac

david.a.robin@capgemini.com ;

marioandres.hernandezlopezomoza@capgemini.com ;

philip.loucopoulos@capgemini.com

RÉSUMÉ

Dans cette recherche exploratoire, nous souhaitons comprendre les mécanismes d'adoption ou de rejet des drones et plus généralement des Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Après avoir confronté cet outil aérien aux modèles existants sur l'acceptation technologique, nous avons opté pour des modèles UX dans lesquels cette acceptation se manifeste après une interaction, un contact avec le dispositif. Dans cet article, nous en vérifions l'adéquation via une méta-analyse de 58 publications empiriques sur le sujet. Celle-ci révèle que l'acceptation des drones s'exprime sous différentes formes régies par des liens de préséance et que les connaissances des utilisateurs s'invitent tout au long de l'activité cognitive qui la produit. Cette construction cognitive est statistiquement marquée par la situation d'utilisation envisagée et les variables qui la décrivent : caractéristiques du répondant, sociales, organisationnelles, du drone, du contexte et de l'interaction. L'acceptation des drones apparaît principalement comme une forme de tolérance à géométrie variable.

MOTS-CLÉS

UAV et drone ; acceptation ; méta-analyse ; expérience utilisateur

1. INTRODUCTION

Les débats et oppositions marquées par une part importante de la population vis à vis des technologies (éolienne, vaccin, "*flygskam*"…) ont médiatisé ces dernières années la question de leur acceptation et donné un coup de projecteur sur leurs conséquences sociétales et économiques. Dans ce contexte, le passage de la conception en laboratoire à l'appropriation d'un dispositif est toujours une phase délicate de développement pour les projets technologiques, et les drones ou UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*) ne font pas exception à cette problématique. Par drone, nous désignons un aéronef qui n'a pas besoin de pilote à bord pour effectuer un déplacement aérien (Robin & Loucopoulos, 2019). Notre recherche vise à comprendre les mécanismes à l'œuvre dans leur non-adoption pour y remédier dès le stade de la conception de l'aéronef, en adaptant le design de l'appareil, ses capacités, son comportement, ses procédures d'utilisation, etc.

De nombreuses études empiriques réalisées sur des échantillons de populations ont permis de mettre au point des modèles pour décrire pourquoi une technologie récente est utilisée ou non, voire, pour certains paradigmes, prédire son acceptabilité. Le plus référencé, le ***TAM*** (Davis, 1989) définit l'acceptabilité comme un comportement dépendant d'évaluations individuelles (les perceptions sur la technologie) mais montre de sérieuses limites (voire Brangier et al, 2010, pour une analyse critique) : s'il peut prédire si la technologie est inadaptée a priori, il ne dit pas comment remédier à cette situation et ne permet pas de différencier les technologies, leurs caractéristiques internes et les objectifs visés ; les résultats pourraient être similaires quel que soit le drone étudié. Dans notre problématique, il ne prend pas en compte la capacité d'un même appareil à opérer à la fois des usages clairement installés

(ex : reconnaissance militaire) et potentiels (taxi, secours aérien)[9]. Il ne prend pas non plus en charge le statut du répondant : il est évident que l'acceptation va varier selon que l'on est l'utilisateur qui commande une livraison de pizza par drone et son voisin qui voit sa maison survolée. Or les deux avis sont pertinents car ils sont des **co-utilisateurs du même espace aérien**, celui dans lequel le drone va effectuer son vol. Le modèle ***UTAUT*** (Venkatesh et al, 2016) prend bien en compte la dimension subie de la technologie (variable modératrice du "volontarisme") mais il ne permet pas d'évaluer des variations d'acceptations, à usage constant, entre deux drones de design ou d'origine différentes. En mettant en évidence *l'acceptabilité située*, Bobillier-Chaumont (2016) sort des évaluations perceptives des technologies en cherchant à mesurer les conséquences intimes et relationnelles initiées par les nouvelles pratiques. Ce modèle est particulièrement adapté pour étudier l'acception lorsqu'un drone bouleverse les façons de faire (ex : secteurs de la prise de vue aérienne, de l'inspection). Il est toutefois réservé aux usages professionnels et traite avant tout de la transformation des pratiques, de l'organisation du travail ou des valeurs métiers que cette nouvelle technologie entraîne.

Une autre approche décrit l'acceptation comme le produit d'une expérience utilisateur. Les modèles de Thüring et Malke (2007), Février (2011), Aranyi & Van Schaik (2015) se basent sur une même tripartition : 1) Au centre du modèle, l'expérience utilisateur : l'interaction (même limitée) avec le dispositif, les perceptions et réponses émotionnelles, les comportements observés ; 2) en amont, les facteurs contextuels et individuels, les composants de l'interaction, les antécédents ; 3) en sortie, les conséquences de l'UX : l'intention d'utiliser mais avant, les jugements, les attitudes. Nous parlerons ici d'**acceptation exprimée** pour regrouper ses résultantes. En dupliquant ces trois éléments, Martin (2018) construit un modèle intégratif qui articule deux temps de construction du jugement utilisateur : il y a un jugement AVANT l'usage et un autre AVEC l'usage. Dans cette optique, le jugement avant usage et ses composantes vont influencer le passage au premier usage et donc l'adoption du produit à plus long terme. Cette influence originelle diminue au fur à mesure des usages, alors que l'expérience utilisateur devient prépondérante. Le schéma suivant est une réinterprétation de ce modèle.

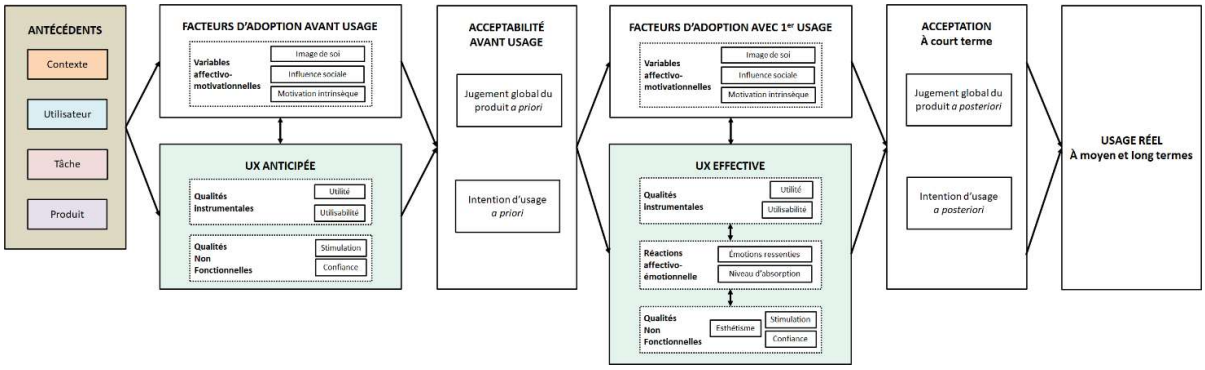


Figure 1 : – Modèle intégratif d'après Martin (2018)

Notre article propose de vérifier si les postulats portés par cette approche UX sont étayés par les études empiriques existantes sur les drones.

2. HYPOTHESES

H1 : L'acceptation des drones est une construction cognitive qui résulte d'une expérience utilisateur (UX) et peut s'exprimer sous la forme de jugements, de choix entre alternatives ou

[9] On différencie l'acceptabilité de l'acception selon que la valeur attribuée au système technologique est évaluée à priori ou après utilisation. Ce distinguo est d'autant plus « poreux » (Brangier et al, 2010) que les drones sont extrêmement polyvalents (Robin & Loucopoulos, 2019) et que le temps de la recherche est parfois rattrapé par celui des prototypes : nous parlerons ici globalement d'acceptation.

d'intentions qui déterminent des usages réels. Cette élaboration cognitive individuelle peut être partagée et rendue collective.

H2 : Cette acceptation se nourrit d'une mise en contact et d'interactions réelles ou envisagées avec un UAV en train d'être utilisé. Ce contact avec un drone peut être décrit sous la forme d'un ensemble de caractéristiques agissantes sur cette construction cognitive : celles du participant (H3) ; celles de son environnement social (H4) ; celles du drone et du dispositif qui en permet le vol (H5) ; celles de la tâche qui est confiée à l'aéronef (H6) ; celles de l'organisation responsable du vol (H7) ; celles enfin de l'interaction, càd les conditions de la situation d'utilisation de l'appareil volant (H8).

H9 : L'acceptation peut évoluer dans le temps : chaque nouvelle rencontre avec un drone, chaque expérience modifie le rapport que l'on peut avoir avec cette technologie en améliorant ou en dégradant l'opinion qu'on lui porte.

3. METHODOLOGIE

La constitution du corpus a suivi une démarche PRISMA : Sur la période janvier 2010 – avril 2022, 438 publications évoquant l'acceptation des UAVs ont été ainsi récoltées. Un premier filtrage a été réalisé pour ne conserver que les publications s'appuyant sur une évaluation de cette acceptation via un protocole : 127 publications ont été rejetées (ex : textes règlementaires ou articles *Proof of concept* qui se limitent aux tests fonctionnels de leurs innovations). Nous avons ensuite effectué un deuxième tri afin de nous limiter, pour cette phase d'étude, aux publications généralistes, reposant sur plus de trois familles d'usages aériens (Robin & Loucopoulos, 2019).

Ce corpus, réduit à 58 publications analysées, a généré 1261 occurrences, c'est-à-dire de résultats exprimés par un échantillon de population sur les drones. Dans les publications conservées, les études sont majoritairement quantitatives avec un échantillon de population répondant à un questionnaire ou à un sondage. D'autres travaux fournissent des résultats plus qualitatifs : réactions observées après démonstrations ; verbalisations échangées lors de focus group (Boucher, 2016) ; études mixtes basées sur des tests utilisateurs (Mueller & Muirhead, 2015). Ces occurrences ont été ensuite regroupées par patterns sémantiques, afin de permettre un encodage destiné à l'analyse. Nous avons distingué les variables résultantes (expression de l'acceptation) et antécédentes qui caractérisent le répondant ou le contexte d'utilisation du drone. Des variables intermédiaires, liées à l'UX et aux qualités ou aux bénéfices/risques perçus complètent ces occurrences. Par exemple, End et al (2021) montrent que les craintes (sortie) liées à la perception du bruit de l'appareil (intermédiaire) varient en fonction du genre des répondants (antécédent). Enfin nous avons relevé si un traitement statistique avait été appliqué à chaque occurrence.

4. RESULTATS

4.1. Variables de sorties et expressions de l'acceptation

Un nombre important d'occurrences (N=98) ne mesure pas ce que pensent les participants des UAVs mais renseigne plutôt leurs niveaux de connaissances sur ceux-ci et/ou leurs usages. La comparaison de ces résultats permet de dresser l'évolution de la connaissance des drones pour une population donnée. Le rapprochement d'enquêtes similaires dans plusieurs pays montre qu'une très grande majorité du public connait désormais le mot *drone* mais il n'est pas sûr que toutes les personnes interrogées y attachent la même signification : Ces connaissances exprimées peuvent être lacunaires voire sans fondement (Tan et al., 2021) et leurs origines peuvent être questionnées (Nelson et al., 2019). De nombreux articles se livrent par ailleurs à des comparaisons inter-usages pour identifier quels emplois des drones sont les plus connus par les populations ciblées. Un autre type de sortie (N=11) correspond aux comportements observés pendant une session d'utilisation de drones. Cette catégorie est peu présente dans nos occurrences car elle requiert la mise en place d'un protocole lourd

que l'on retrouve plutôt dans les études portant sur les interactions *Human-Drone* (HDI). Les occurrences correspondant à l'acceptation prennent, dans notre corpus, 6 aspects :

- **Des jugements :** Dans 20% des occurrences (N=247), l'acceptation mesurée a la forme d'un diagnostic, pour lequel les répondants ont choisi, priorisé, pesé le pour et le contre.
- **Des préoccupations** sont des mesures de niveaux d'inquiétude (N=130) ; on interroge le public sur les craintes que l'arrivée des UAVs suscite.
- **Des attitudes** correspondent aux opinions plutôt générales et spontanées, aux aprioris (N=134) ; on ne demande pas aux participants d'évaluer un usage de drone mais plutôt s'ils se sentent à l'aise avec tel usage ou encore les mots qu'ils associent spontanément à l'aéronef.
- **Des soutiens ou des oppositions** : C'est la forme la plus fréquente de notre base de données, (N=519) liée aux intitulés brefs des enquêtes sondagières. En comparant ainsi différents usages effectués par des UAVs ou des aéronefs classiques, Bracken et al. (2014) montrent que le soutien est toujours moins fort pour les drones.
- **Des intentions** regroupent les projections personnelles des répondants sur le court et moyen termes (N=51).
- **Les usages réels** pour les occurrences qui témoignent d'une utilisation effective : par exemple les nombres de certifications par usages ou d'incidents déclarés.

L'analyse de ces occurrences montrent des effets de préséances entre ces différentes formes d'expressions de l'acceptation : Les attitudes sont ainsi influencées (négativement) par des jugements (Yoo et al. (2016) et des préoccupations (Ahrendt ; 2020) ; un même rapport relie oppositions et préoccupations (Benken, 2021). L'intention est tributaire des jugements, des préoccupations et attitudes ou encore du soutien exprimé (ex : Mueller & Muirhead, 2015, Eißfeldt & Biella, 2018). En revanche nous n'avons pas trouvé, dans notre corpus, de liens significatifs entre les usages réels et les autres formes d'acceptation exprimée.

L'analyse met aussi en évidence un lien entre le degré de connaissances exprimées et chacune de ses formes d'acceptation : Plus on montre que l'on connait les drones, plus on les juge positivement (Clothier et al., 2015, Whyte & Murray, 2019). Cette connaissance affecte aussi les préoccupations (Chamata, 2016 ; Eißfeldt & Vogepohl, 2020), les soutiens et l'intention d'utiliser (Tam, 2011). Nelson et al. (2019) montrent que ces connaissances générales sur les drones, comme des compétences associées (traitement des images, programmation…) dépendent elles-mêmes des pratiques réelles : Plus on a utilisé un UAV, plus sa représentation mentale est établie. Le tableau suivant résume la manière dont se répartissent les occurrences analysées en fonction de ces variables dépendantes. Lorsque les occurrences montrent des variations de mesures d'acceptation sans que celles-ci soient étayées par une étude statistique, nous les avons indiquées comme « possibles ».

	Occurrences			Effets sur l'acceptation exprimée significatifs (●) ou possibles (o)					
Sorties	**N**	**%**	**N signif.**	**JUG**	**PREO**	**ATT**	**S/O**	**INT**	**U.R**
Connaissances exprimées	98	8%	20	●	●	o	●	●	●
UX, comportements	11	1%	-	-	-	o	-	-	-
Acceptation exprimée									
Jugements (JUG)	247	20%	13		-	●	●	●	-
Préoccupations (PREO)	130	10%	7			●	●	●	-
Attitudes (ATT)	134	11%	8				●	●	-
Soutiens/oppositions (S/O)	519	41%	1					●	-
Intentions (INT)	51	4%	-						-
Usages réels (U.R)	65	5%	-						

Tableau 1 : Répartitions des variables dépendantes pour les 1261 occurrences analysées.

4.2. Caractéristiques de l'exposition au drone

a) Caractéristiques des utilisateurs : Facteur le plus étudié dans notre corpus (N=150), l'expérience antérieure des répondants avec les UAVs peut aller du simple contact visuel à la fréquence d'utilisation voire le fait de connaître un possesseur de drone. Si ce niveau de familiarité influence d'abord les connaissances affichées du répondant, il affecte favorablement, avec de nombreux effets significatifs, les différentes formes d'acceptation mais aussi l'usage réel (Eißfeldt & Biella, 2018). Le genre, seconde variable la plus fréquente de notre base de données (N=90), agit significativement de façon défavorable sur les différents niveaux d'acceptation (End et al, 2021). Un biais important réside dans le fait que les répondantes ne possèdent pas le même niveau d'expérience que leurs équivalents masculins (Tan et al., 2021). L'âge est également une variable très présente dans nos occurrences (N=60) et, si des tendances sont observables par exemple sur les préoccupations, c'est sur l'attitude ou le soutien que Thompson & Bracken-Roche (2015) découvrent respectivement une influence significative. Mais cet effet pourrait aussi s'expliquer par la différence d'imprégnation technologique entre générations (Tam, 2011). Le positionnement sur certaines valeurs (notamment politiques) produit des effets significatifs sur la connaissance réelle (West et al., 2019) et l'acceptation des UAVs : Miethe et al. (2014) ou Markowitz et al. (2017) l'observent sur des mesures de jugements ou de soutiens. Le niveau d'étude intervient d'abord en influençant le niveau de connaissances, mais aussi directement sur les préoccupations ou l'intention (Cameron, 2014). Nous avons regroupé sous l'étiquette *Personnalité* les mesures décrivant des tempéraments (comme l'anxiété technologique) ; un lien direct existe entre ce facteur et les attitudes sur les drones (Ahrendt, 2020) mais les autres formes d'acceptation ne sont pas en reste (Yoo et al., 2018, Benken, 2021).

b) Caractéristiques sociales : Ces facteurs apparaissent lorsque les publications comparent les résultats issus de groupes de participants appartenant à plusieurs groupes sociaux, nationalités ou aires géographiques (ville vs. Campagne), etc. Ainsi la nationalité explique des différences d'attitudes ou de soutien pour certains drones (PEW, 2012) et la domiciliation intervient sur le jugement (Sakiyama et al., 2020) et le soutien (Soffronoff et al. 2016). Le niveau de revenus détermine aussi significativement ce même soutien (Miethe et al., 2014) mais reste à l'état de tendances pour d'autres formes de retours utilisateurs. Les autres données (comme le métier des participants) sont moins étayées ou contradictoires.

c) Caractéristiques de la tâche : Cette variable est contrôlée lorsque l'on demande à un même groupe ses connaissances et/ou opinions sur différents usages aériens possibles. Ainsi formulée, la question admet des biais possibles en raison de la confrontation entre usages existants / possibles, usages connus / méconnus par les répondants, selon des variations de l'organisation et du drone lui-même. Nous avons constaté aussi des biais liés à l'intitulé même de la tâche. Pour autant, l'usage aérien s'est révélé significativement important pour l'attitude (Ahrendt, 2020), le soutien (Markowitz et al., 2017) ou l'intention (Eißfeldt et Vogelpohl, 2020). Des tendances fortes mais non prouvées statistiquement existent également pour les préoccupations.

d) Caractéristiques de l'organisation : A usage équivalent, le changement de commanditaire affecte-t-il l'acceptation du vol ? Oui, de nombreux effets significatifs de l'attribution ont été constatés sur les différentes strates de l'acceptation (ex : Eyerman et al., 2013, Murray, 2016, Klauser & Pedrozo, 2017, Nelson et al, 2019, Sakiyama et al., 2020, Tan et al., 2021).

e) Caractéristiques du drone : Les occurrences relevées montrent qu'une influence de l'aspect du drone, c'est-à-dire la formule aéronautique choisie, est possible (Vincenzi et al., 2013) tout comme celle de sa couleur, son design, des matériaux employés (Chang et al., 2017). Le degré d'autonomie, sa capacité à se passer d'opérateurs humains pour certaines phases de vol (Lidynia et al., 2017) mais aussi ses dimensions et sa masse (Tan et al., 2021) font également varier l'acceptation exprimée. Si nous n'avons pas trouvé d'occurrences directement liées à son origine (son constructeur), la nature de ses

équipements étaient trop dépendantes du motif du déplacement aérien pour être évaluée séparément, bien que plusieurs enquêtes distinguent les drones armés / non armés (Herron et al., 2014).

f) Caractéristiques de l'interaction elle-même : Nous regroupons ici tous les facteurs décrivant les conditions d'exposition du répondant à l'utilisation de drones. Ainsi le lieu survolé par le drone a engendré des résultats significatifs en termes de jugements (West et al., 2019) et de préoccupations (Benken, 2021) ; de même, l'heure du vol ou le moment de la journée modifie le niveau de soutien (Eißfeldt & Biella, 2018, Eißfeldt et Vogelpohl, 2020). Des biais sont possibles puisque la tâche n'est pas toujours spécifiée (ex : « survols de plage » chez Hitlin, 2017). La nature même de l'interaction nous semble déterminante mais cette variable est peu questionnée : La séparation entre expérience et interaction n'est pas toujours réalisée dans les publications et pour être significatif, le niveau d'entrée de l'expertise devrait être contrôlé avant la rencontre avec l'aéronef visé (= l'interaction). Des chercheurs montrent cependant l'influence de cette mise en contact par la comparaison des résultats produits par des participants répartis selon plusieurs modalités : lecture ou non d'un texte informatif ; interaction avec maquette / avec drone (Chang et al., 2017) ; simulation ou non de collision (Zhu et al., 2021), etc.

Le tableau 2 résume la distribution des occurrences analysées en fonction des variables décrivant la situation d'interaction avec un drone. Il montre aussi sur quel niveau d'acceptation ces variables ont pu avoir un effet significatif et si un lien existe entre celles-ci et les connaissances exprimées (notées K).

	Occurrences		Effets sur l'acceptation exprimée significatifs (●) ou possibles (O)						
Antécédents	**N**	***N signif.***	**K**	**JUG**	**PREO**	**ATT**	**S/O**	**INT**	**U.R**
Car. répondant									
Expertise, familiarité	150	*52*	●	●	●	O	●	●	●
Genre	90	*24*	●	O	●	●	●	O	●
Age	60	*10*	●	●	O	●	●	O	O
Positionnement	43	*15*	●	●	●	●	●	●	-
Niv. d'étude	30	*10*	●	O	●	O	●	O	-
Personnalité	15	*14*	-	●	●	●	●	●	-
Car. sociales									
CSP	11	-	O	O	-	O	O	-	-
Domiciliation	67	*6*	O	●	O	O	●	-	-
Niv. de revenus	15	*4*	-	O	O	O	●	O	-
Profession (type)	34	-	-	O	O	-	O	-	-
Car. Tâches (usage aérien)	367	*20*	O	●	O	●	●	●	O
Car. Organisation									
Attribution	123	*5*	O	●	O	●	●	-	O
Car. Drone									
Formule aéronautique	37	*1*	O	O	●	O	O	-	O
Dimensions, masse	12	-	O	O	O	-	O	-	O
Autonomie, automatisation	25	*2*	O	●	O	O	O	-	-
Car. Interaction									
Environnement	37	*3*	-	O	●	O	●	O	-
Heure du vol	5	-	-	-	-	-	O	O	-
Modalités	56	*5*	-	●	●	●	O	-	●

Tableau 2 : Distribution des occurrences selon les variables décrivant la situation d'utilisation de l'UAV.

5. DISCUSSION

Les occurrences issues de notre corpus confirment que l'acceptation des UAVs est bien une construction cognitive (*H1*) qui s'expriment via différentes formes avec des effets de préséances relatives. Excepté pour les usages réels, les études empiriques montrent l'influence des connaissances et de l'expérience antérieure que les participants ont pu avoir avec les drones (*H2*). Notre étude

montre aussi que les différentes formes d'acceptation varient en fonction des modalités de rencontre du participant avec la technologie drone. Nous observons le poids des caractéristiques de l'utilisateur-participant, de l'organisation, de l'usage, etc. (*H3, H4, H6, H7, H8* confirmées). Nous sommes cependant surpris par le faible nombre d'évaluations statistiques validant l'hypothèse *H5* (effet des caractéristiques du drone lui-même), seulement des tendances de probabilité fortes à consolider. Nous n'avons pas eu à notre disposition de publications longitudinales pour étayer la variabilité de l'acceptation dans le temps, au gré des rencontres avec un drone (*H9*).

Des limites à cette exploration peuvent être observées : Les répartitions et absences d'effets constatées sont tributaires du corpus généraliste choisi. C'est le cas pour certaines variables de l'interaction qui n'ont pas été retrouvées dans ce set de données, comme l'exposition choisie ou subie à cette technologie. Nous espérons les observer dans les publications rattachées à certains usages. On pourra aussi discuter des biais possibles des évaluations fournies par des études qualitatives lorsque les répondants expérimentent souvent dans de bonnes conditions la situation d'usage et que cette expérience est à la fois nouvelle, ponctuelle et positive, sans être implantée dans un contexte quotidien (cf. l'acceptabilité située de Bobillier-Chaumon, 2016). Nous souhaitons aussi prolonger ce travail d'abord par la poursuite de l'analyse des occurrences en mettant le focus sur l'activité cognitive des répondants qui les conduit à exprimer une acceptation : perceptions des qualités instrumentales ou hédonistes des UAVs en situation ; réactions spontanées ; perceptions de bénéfices ou de risques. Ensuite, dans une perspective de conception de prototypes, la réalisation d'un protocole empirique devrait chercher à quantifier l'importance de plusieurs facteurs. Il serait ainsi pertinent de vérifier si les caractéristiques propres à l'aéronef (hypothèse *H5*) comme celles définissant l'interaction (*H8*) modifient bien l'expression de l'acceptation de manière significative.

Enfin, si l'on considère les drones comme des yeux, des oreilles ou des bras téléportés, qui permettent non seulement d'augmenter les perceptions mais aussi d'améliorer la conscience de situations par les informations collectées ou de simplifier des modes opératoires, on peut les assimiler à une technologie symbiotique (Brangier et al., 2009). Les connaissances acquises par l'expériences, par le contact avec les UAVs, peuvent ainsi s'envisager comme les déterminants pour un passage de seuils entre les scénarios de « Rejet », « Acceptation » et « Symbiose » pour les utilisateurs pilotes ou usagers des drones. Mais pour les autres ? Ceux qui « *vivent avec* » (Brangier et al, 2009) sans en profiter directement ? Notre méta-analyse révèle surtout une zone grise d'où pourrait émerger d'autres scénarios de rapport à la technologie, entre indétermination et tolérance à géométrie variable.

6. BIBLIOGRAPHIE

Ahrendt, J. (2020). *Acceptance of drones: Does it matter who operates a drone?* [Bachelor thesis, University of Twente].

Aranyi, G., & Van Schaik, P. (2015). Modeling user experience with news websites. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, *66*(12), 2471-2493.

Bobillier-Chaumon, M.-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. *Psychologie du travail et des organisations*, *22*(1).

Benken, M. S. A. von den. (2021). *Environment and Fear: Their Effect on Drone Acceptance, Information Needs, and Privacy Concern.* [Info:eu-repo/semantics/masterThesis, University of Twente].

Boucher, P. (2016). 'You Wouldn't have Your Granny Using Them': Drawing Boundaries Between Acceptable and Unacceptable Applications of Civil Drones. *Science and Engineering Ethics*, *22*(5), 1391-1418.

Bracken-Roche, C., Lyon, D., Mansour, M. J., Molnar, A., Saulnier, A., & Thompson, S. (2014). *Surveillance drones: Privacy implications of the spread of unmanned aerial vehicles (UAVs) in*

Canada—DRO (Faculty of Arts and Education, School of Humanities and Social Sciences). Surveillance Studies Centre, Sociology, Queen's University.

Brangier, E., Dufresne, A., & Hammes-Adelé, S. (2009). Approche symbiotique de la relation humain-technologie: perspectives pour l'ergonomie informatique. *Le travail humain*, *72*(4), 333-353.

Brangier, E., Hammes-Adelé, S., & Bastien, J. M. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies: de l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. *European review of applied psychology*, *60*(2), 129-146.

Chamata, J. (2016). *Factors influencing the Adoption of Unmanned Aerial Technology in Malaysia: Preliminary Results*. Borneo Research Education Conference, UiTM Sarawak.

Chang, V., Chundury, P., & Chetty, M. (2017). Spiders in the Sky: User Perceptions of Drones, Privacy, and Security. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 6765-6776). Association for Computing Machinery.

Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, *35*(8), 982-1003.

Eichleay, M., Mercer, S., Murashani, J., & Evens, E. (2016). Using Unmanned Aerial Vehicles for Development : Perspectives from Citizens and Government Officials in Tanzania.

Eißfeldt, H., & Biella, M. (2018). Of People and drones. In H. Becherstorfer, J. Lasry, & M. Schwarz (Éds.), Proceedings of the 33rd Conference of the European association for Aviation Psychology: Connecting People, Organisations & technology in Aviation. (p. 23-37). European Association for Aviation Psychology.

Eißfeldt, H., & Vogelpohl, V. (2020). Drone accepotance and noise cocerns—From NIMBY to NOMOH. Berichte & Ergebnisse aus Forschung und Praxis, 39-51.

Eißfeldt, H., Vogelpohl, V., Stolz, M., Papenfuß, A., Biella, M., Belz, J., & Kügler, D. (2020). The acceptance of civil drones in Germany. CEAS Aeronautical Journal, 11(3), 665-676.

End, A., Vogelpohl, V., & Eißfeldt, H. (2021). Gender differences in noise concerns about civil drones. ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, Stockholm, Schweden (virtuell).

Eyerman, J., Letterman, C., Pitts, W., Holloway, J., Hinkle, K., Schanzer, D., Ladd, K., Mitchell, S., & Kaydos-Daniels, S. C. (2013). Perceptions and First Responder Concerns. Institute for Homeland Security Solutions.

Février, F. (2011). Vers un modèle intégrateur" expérience-acceptation": rôle des affects et de caractéristiques personnelles et contextuelles dans la détermination des intentions d'usage d'un environnement numérique de travail (Doctoral dissertation, Université Rennes 2; Université Européenne de Bretagne)

Herron, K. G., Jenkins Smith, H. C., & Silva, C. L. (2014). US public perspectives on privacy, security and UAS. Center for Risk and Crisis Management Center for Applied Social Research University of Oklahoma.

Hitlin, P. (2017). How Americans feel about drones and ways to use them. Pew Research Center.

Klauser, F., & Pedrozo, S. (2017). Big data from the sky: Popular perceptions of private drones in Switzerland. Geographica Helvetica, 72(2), 231-239.

Lidynia, C., Philipsen, R., & Ziefle, M. (2017). Droning on About Drones—Acceptance of and Perceived Barriers to Drones in Civil Usage Contexts. In P. Savage-Knepshield & J. Chen (Éds.), Advances in Human Factors in Robots and Unmanned Systems (Vol. 499, p. 317-329). Springer International Publishing.

Markowitz, E. M., Nisbet, M. C., Danylchuk, A. J., & Engelbourg, S. I. (2017). What's That Buzzing Noise? Public Opinion on the Use of Drones for Conservation Science. BioScience, 67(4), 382-385.

Martin, N. P. Y. (2018). Acceptabilité, acceptation et expérience utilisateur : Évaluation et modélisation des facteurs d'adoption des produits technologiques [thesis, Université Rennes 2].

Miethe, T., Lieberman, J., Sakiyama, M., & Troshynski, E. (2014). Public Attitudes about Aerial Drone Activities: Results of a National Survey. UNLV Center for crime and justice policy, 2014-02.

Mueller, F. « floyd », & Muirhead, M. (2015). Jogging with a Quadcopter | Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI'15.

Murray, P. (2013). U.S. Supports Unarmed Domestic Drones. Monmouth University Polling Institute.

Nelson, J. R., Grubesic, T. H., Wallace, D., & Chamberlain, A. W. (2019). The View from Above: A Survey of the Public's Perception of Unmanned Aerial Vehicles and Privacy. Journal of Urban Technology, 26(1), 83-105.

Robin, D., Loucopoulos, Ph. (2019). Les usages possibles des drones - préalable à l'étude de leurs futures acceptabilités, in EPIQUE 2019, 10ème colloque de psychologie ergonomique - L'ergonomie et les nouvelles technologies (p. 225). Arpege Science Publishing.

Sakiyama, M., Miethe, T. D., Lieberman, J. D., & Heen, M. S. J. (2014). Nevada vs. U.S. Residents' Attitudes Toward Surveillance Using Aerial Drones. UNLV, Center for crime and justice policy, University of Nevada.

Soffronoff, J., Piscioneri, P., & Weaver, A. (2016). Public Perception of Drone Delivery in the United States (RARC-WP-17-001). Office of Inspector General, US Postal service.

Tam, A. (2011). Public Perception of Unmanned Aerial Vehicles. Aviation Technology Graduate Student Publications.

Tan, L. K. L., Lim, B. C., Park, G., Low, K. H., & Seng Yeo, V. C. (2021). Public acceptance of drone applications in a highly urbanized environment. Technology in Society, 64, 101462

Thompson, S., & Bracken-Roche, C. (2015). Understanding public opinion of UAVs in Canada: A 2014 analysis of survey data and its policy implications. Journal of Unmanned Vehicle Systems, 3(4), 156-175.

Thüring, M., & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. International Journal of Psychology, 42(4), 253-264.

Venkatesh, V., Thong, J., Xu, X., (2016). Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: A Synthesis and the Road Ahead. Journal of the Association for Information Systems, 17(5), 328-376.

Vincenzi, D., Ison, D., & Liu, D. (2013). Public Perception of Unmanned Aerial Systems (UAS) : A Survey of Public Knowledge Regarding Roles, Capabilities, and Safety While Operating Within the National Airspace System (NAS). Publications.

West, J. P., Klofstad, C. A., Uscinski, J. E., & Connolly, J. M. (2019). Citizen Support for Domestic Drone Use and Regulation. American Politics Research, 47(1), 119-151.

Whyte, E., & Murray, J. (2019). Building Trust in Drones, The importance of education, accountability and reward. PwC.

Yoo, W., Yu, E., & Jung, J. (2018). Drone delivery: Factors affecting the public's attitude and intention to adopt. Telematics and Informatics, 35(6), 1687-1700.

Zhu, H. Y., Magsino, E. M., Hamim, S. M., Lin, C.-T., & Chen, H.-T. (2021). A Drone Nearly Hit Me! A Reflection on the Human Factors of Drone Collisions. Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-6.

CL : *Expérience motivationnelle durant un serious game : analyse dynamique en lien avec le flow et les émotions*

Tristan Guarnieri, Fabien Fenouillet, Christine Lebreton & Stéphanie Stankovic
Laboratoire Interdisciplinaire en Neurosciences, Physiologie et psychologie (LINP2)
Université Paris Nanterre ; guarnieri.tristan@gmail.com
Laboratoire Interdisciplinaire en Neurosciences, Physiologie et psychologie (LINP2)
Université Paris Nanterre ; fabienfenouillet@yahoo.fr
Synakène, Ivry-sur-Seine ; clebreton@synakene.fr
Laboratoire Interdisciplinaire en Neurosciences, Physiologie et psychologie (LINP2)
Université Paris Nanterre ; stephanie.stankovic@gmail.com

RÉSUMÉ

Les serious game numériques sont des outils pédagogiques voulant mobiliser les motivations dans une perspective d'apprentissage. Cependant, diverses méta-analyses révèlent un manque de consensus sur l'effet motivationnel des serious game. Une piste pouvant expliquer ces résultats est que l'étude des serious game s'opère majoritairement grâce à questionnaires pré/post alors qu'il existe des phénomènes motivationnels interagissant avec la situation comme le flow. Nous intégrons des indicateurs explicites mono-item sur les émotions, l'accomplissement et la concentration à plusieurs moments durant un serious game. Nous étudions les liens de ces indicateurs dynamiques avec des dimensions du flow et des émotions mesurées après le jeu. Nos résultats confirment l'existence de lien entre ces indicateurs dynamiques et des dimensions motivationnelles et montrent une fluctuation spécifique des indicateurs au cours du jeu. Ces travaux ouvrent des perspectives pour appréhender l'expérience motivationnelle utilisateur durant l'utilisation des serious game.

MOTS-CLÉS

Motivation, serious game, flow, expérience utilisateur, mesure dynamique

1. INTRODUCTION, PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

1.1. Introduction

Un serious game est un outil numérique d'apprentissage ayant pour objectif de susciter les motivations des apprenants grâce à ses caractéristiques ludiques (Guardiola et al., 2012). Par des leviers motivationnels, les serious games sont censés favoriser l'apprentissage en engendrant plus de persévérance en cas de difficulté et davantage de comportement favorisant la compréhension des contenus (Hamari et al., 2014). L'apprentissage et la motivation font partie de l'expérience utilisateur (UX) qui désigne les perceptions et les réponses d'un utilisateur suite à l'utilisation effective ou anticipée d'un système, d'un produit ou d'un service (Moizer, 2019). Evaluer la qualité d'un serious game revient ainsi à évaluer la qualité de l'expérience utilisateur qu'il procure sur ses dimensions « apprentissage » et « motivation ».

1.2. Problématique

1.2.1. Mesurer l'expérience utilisateur de façon situationnelle et dynamique

Les méta-analyses montrent que les effets motivationnels des serious game sont globalement moins observés que les résultats d'apprentissage. Les auteurs de ces revues présentent différentes raisons comme la grande diversité des serious game et des théories motivationnelles mobilisées (Wouters et al., 2013) ainsi que la variabilité des groupes contrôle et des méthodologies (Girard et al., 2013). Nous estimons que ce faible lien pourrait être lié justement à la méthode de mesure de l'UX dans les serious game (Moizer et al., 2019). Dans le cadre de la formation digitale avec les serious game, l'UX s'analyse essentiellement par des questionnaires d'apprentissage et de motivation (Maia & Furtado, 2016). De façon générale, les études sur l'UX mobilisent le plus souvent des mesures uniques par rapport à des mesures répétées dans le temps. Smith, Blackmore, et Nesbitt (2015) montrent notamment que sur 188 études impliquant un serious game, seules 21% d'entre elles positionnent des mesures durant le serious game. Cette faible proportion de mesures réalisées durant l'utilisation des serious game est peut-être la raison pour laquelle on observe des liens inconsistants entre serious game et motivation dans la littérature.

En effet, l'UX recouvre nécessairement des phénomènes psychologiques fluctuants dans le temps, telles que les motivations des utilisateurs. A ce titre, certaines recherches investiguent la mesure de l'UX de façon qualitative et dynamique sur le long terme (Kujala et al., 2019). Ces travaux portent en partie sur la fidélité des utilisateurs auprès d'un produit ou d'un service (comme un téléphone ou un site web). Cette approche est pertinente pour l'usage prolongé dans le temps, mais doit être adaptée dans le cas des formations numériques. En effet, ces dernières n'appellent pas forcément à une utilisation prolongée sur le long terme puisqu'une fois les connaissances maîtrisées, l'apprenant n'a plus de raison d'y revenir. De plus, il est plus difficile d'inclure des mesures qualitatives dans le cas des formations à distance, car elles demandent davantage d'investissement de la part des apprenants en plus de leurs efforts d'apprentissage.

1.2.2. Indicateurs internes dynamiques

Nous faisons l'hypothèse que les moments de mesure des motivations (durant ou en dehors du serious game) et leur fréquence (statique ou dynamique) déterminent la capacité des outils à capter lesdites motivations. Pour appréhender l'UX durant un serious game et ses ressorts motivationnels en quasi-temps réel, nous investiguons une méthode de mesure explicite et dynamique du ressenti de l'utilisateur grâce à des échelles mono-item sur les émotions, l'accomplissement et la concentration ressentie durant le jeu. Nous qualifions ces mesures de « dynamique », car les participants doivent y répondre à plusieurs moments de l'étude : nous leur demandions de faire le jeu deux fois et de répondre aux indicateurs au début, au milieu et à la fin de chacun de ces deux essais. En plus d'étudier la dynamique intra-essai, nous voulions étudier s'il y avait une différence entre la première utilisation, qui peut constituer une phase de découverte, et la deuxième utilisation, qui permettrait à l'apprenant d'ajuster son utilisation grâce aux savoirs acquis précédemment.

Ces indicateurs dynamiques sont théoriquement liés aux facettes de la motivation qui sont décrites par la suite. Les **émotions** ressenties durant le jeu sont évaluées par l'item : « Comment vous sentez vous à cet instant ? ». Les émotions permettent d'évaluer les effets positifs et négatifs de nos actions pour ajuster nos comportements (Scherer, 2005) et déterminent notre satisfaction à l'égard d'une expérience de formation. Lors de l'utilisation d'un serious game, les émotions tiennent donc une place importante dans la régulation de nos actions et donc de nos motivations. **L'accomplissement** ressenti durant le jeu est évalué par l'item « A cet instant, pensez-vous que vous allez réussir à atteindre vos objectifs ? ». L'accomplissement correspond à un sentiment d'efficacité sur son environnement, donc à l'évaluation que fait l'individu sur ses capacités à réussir ou non une tâche. Les buts d'accomplissements font partie des objectifs majeurs des individus dans des contextes d'apprentissage

(Sarrazin, 1995). Ce sentiment permet à l'apprenant de savoir s'il doit poursuivre ou changer de comportement pour réussir et est donc un facteur de régulation des motivations. La **concentration** ressentie durant le jeu est évaluée par l'item « A cet instant, vous sentez vous concentré(e) sur ce que vous faites ? ». La concentration permet à l'apprenant d'allouer ses ressources cognitives à l'utilisation du serious game et de réaliser la tâche de façon optimale (Spikman & Van Zomeren, 2010). Elle lui permet de se concentrer sur ses objectifs et intervient ainsi dans la découverte et la maîtrise du jeu.

1.2.3. Indicateurs externes de motivation

Les indicateurs d'émotion, d'accomplissement et de concentration sont supposés jouer un rôle dans la régulation des comportements et donc avoir des liens avec des construits motivationnels. Afin de vérifier ces hypothèses et d'attester de la capacité des indicateurs internes à expliquer l'expérience motivationnelle utilisateur, nous les mettons en lien avec une échelle de flow et une échelle d'émotion positionnées après le serious game.

Les émotions positives et négatives, en tant que dimension de l'UX, peuvent être liées au bien-être hédonique qui est étroitement lié aux motivations intrinsèques (Laguardia & Ryan, 2000). Une autre forme d'émotion associée à l'utilisation des serious game est le flow. Nakamura et Csikszentmihalyi (2009) décrivent le flow comme un état émotionnel transitoire, fragile et particulièrement plaisant, où l'individu est totalement absorbé par la tâche. Il faut différencier les conditions d'apparitions du flow (équilibre défi-compétences, clarté des buts, feedback immédiat) et les caractéristiques du flow (absorption dans la tâche, concentration sur l'action, sensation de contrôle, perte de conscience de soi, transformation du temps, expérience autotélique) (Demontrond & Gaudreau, 2008). Dans ce cadre du flow, nous relions l'indicateur dynamique d'émotion à l'expérience autotélique, qui représente une expérience vécue pour le plaisir intrinsèque de la vivre. Nous relions ensuite l'indicateur dynamique d'accomplissement aux dimensions « équilibre défi-compétences » et « clarté des buts ». En effet, on peut estimer que l'évaluation de sa capacité à réussir une tâche dépend tout ou partie de notre aptitude à répondre au défi qui nous est proposé vis-à-vis d'un objectif qui nous parait clair. Également, la concentration fait partie des caractéristiques associée au flow, puisque cet état est décrit comme un fort investissement attentionnel dans une tâche. Le flow a été étudié dans le cadre des serious game, mais pas avec à des mesures internes au jeu (Perttula et al., 2017). Dans une démarche exploratoire, nous nous demandons quels liens vont entretenir nos mesures internes avec les différentes dimensions du flow mesurées après l'utilisation du serious game et si ces derniers seront capables de prédire des scores de connaissance questionnés avant et après le jeu.

1.3. Hypothèses

- H1 : Les émotions durant le jeu prédisent positivement les émotions positives mesurées après le jeu (SPANE) et l'expérience autotélique (Flow) et négativement les émotions négatives mesurées après le jeu (SPANE)
- H2 : L'accomplissement durant le jeu prédit positivement les dimensions « équilibre défi-compétence » et « objectif clair » du flow (FSS-2) mesurées après le jeu
- H3 : La concentration durant le jeu prédit positivement la dimension « concentration » du flow (FSS-2) mesurées après le jeu
- H4 : Les indicateurs dynamiques d'émotion, d'accomplissement et de concentration fluctuent au fur et à mesure des essais et des phases du serious game
- H5 : Les indicateurs dynamiques prédisent la performance au jeu et au questionnaire d'apprentissage

2. MILIEU D'IMPLANTATION ET METHODE

2.1. Milieu d'implantation

Cette étude exploratoire est réalisée auprès de 157 étudiants. 108 sont en Licence 1 de psychologie à l'université (86,1% femmes ; m_{age}=20.6 ; ET=5.18). 49 sont en Institut de Formation aux Soins Infirmiers – IFSI (87,7% femmes ; m_{age}=21.5 ; ET=4.54). L'étude est réalisée en présentiel pour tous les étudiants de psychologie et pour une partie des étudiants en IFSI, la pandémie de Covid-19 ayant contraint certaines passations à se dérouler à distance.

2.2. Méthode

2.2.1. Échelles

Des questionnaires après l'utilisation permettent de mesurer diverses dimensions liées à la motivation des participants. Les 12 items issus de l'échelle d'émotions positive et négatives – SPANE (Diener et al., 2010). Les 36 items issus de l'échelle du flow – FSS-2 (Fournier et al., 2007).

2.2.2. Serious game sur l'entretien thérapeutique

Chaque individu participe à une séance de formation via l'usage d'un serious game sur l'entretien thérapeutique. Les participants incarnent une infirmière qui effectue un entretien thérapeutique avec un patient atteint d'une maladie cardio-vasculaire. Le but du jeu est de choisir les bons dialogues à dire au patient durant l'entretien, selon leur contenu et leur formulation. Nous avons considéré que les étudiants en psychologie pouvaient aussi faire ce jeu, car il reposait surtout sur le choix des formulations, chose à laquelle ils seront formés dans leur cursus. Les choix déterminent les réactions du patient et les scores des objectifs intégrés au serious game. Sur l'interface, une barre représentant la motivation du patient augmente si le participant fait un bon choix et dialogue et diminue s'il est mauvais. Cela constitue un feedback immédiat de réussite et de progression pour l'apprenant. En moyenne, les participants mettaient environ 8 minutes pour terminer un essai au jeu.

2.2.3. Indicateurs internes de la motivation

Trois items sont posés dans le serious game sous forme de questions sur des construits ressentis par les participants durant l'utilisation : les émotions ressenties durant le jeu (EMO), l'accomplissement ressenti durant le jeu (ACCOM) et la concentration ressentie durant le jeu (CONC) à trois moments durant l'utilisation du serious game (au début, au milieu et à la fin du scénario). Les items sont :

- EMO : « *Comment vous sentez vous à cet instant ?* », sur une échelle de Likert variant de 1 à 5 (e.g. 1 = « Je me sens mal » à 5 = « Je me sens bien »).
- ACCOM : « *A cet instant, pensez-vous que vous allez réussir à atteindre vos objectifs ?* », sur une échelle de Likert variant de 1 à 5 (e.g. 1 = « Pas du tout » à 5 = « Tout à fait »).
- CONC : « *A cet instant, vous sentez vous concentré(e) sur ce que vous faites ?* », sur une échelle de Likert variant de 1 à 5 (e.g. 1 = « Pas du tout » à 5 = « Tout à fait »).

2.2.4. Procédure

Les participants se connectent sur une plateforme en ligne hébergeant le serious game et les questionnaires. Les participants réalisent deux fois le même serious game, ce qui donne deux essais. Durant chaque essai, les participants répondent trois fois (au début, au milieu et à la fin du scénario) aux trois indicateurs internes. Après le deuxième essai au serious game, les participants répondent dans l'ordre aux échelles d'émotions (SPANE) et de flow (FSS-2). Le groupe IFSI réalise la même procédure, mais répond également à un questionnaire de connaissance déclarative avant et après le jeu sur la thématique de l'entretien thérapeutique.

3. RESULTATS

Pour chaque indicateur interne, nous effectuons trois phases de mesure (début, milieu, fin) sur deux essais (1 et 2). Ainsi, les analyses peuvent être plus ou moins précises selon que l'on interroge les moyennes des 3 indicateurs par essai ou bien chaque score des indicateurs par phase. Aucune différence significative entre les étudiants en psychologie ou en IFSI n'est apparue sur l'ensemble des analyses présentées dans les paragraphes suivants.

3.1. Relation des indicateurs dynamiques avec les dimensions du flow et des émotions

Dans un premier temps, nos analyses de corrélation (Tableau 1) nous permettent de confirmer l'existence de liens linéaires entre nos variables. Les **émotions** des deux essais sont corrélées significativement avec les « émotions positives » ($r_{(SPANE\ P,\ EMO1)}$= .28 ; p<.001 ; $r_{(SPANE\ P,\ EMO2)}$= .37 p<.001) et les « émotions négatives » ($r_{(SPANE\ N,\ EMO1)}$= -.24 ; p<.01 ; $r_{(SPANE\ N,\ EMO2)}$= -.34 p<.001). Elles sont également corrélées avec « l'expérience autotélique » du flow ($r_{(Flow\ X,\ EMO1)}$= .18 ; p<.05 ; $r_{(Flow\ X,\ EMO2)}$= .26 ; p<.01). **L'accomplissement** des deux essais est corrélé avec « l'équilibre défi-compétence » ($r_{(Flow\ S,\ ACCOM1)}$= .43 ; p<.001 ; $r_{(Flow\ S,\ ACCOM2)}$= .47 ; p<.001) et la « clarté des buts » du flow ($r_{(Flow\ G,\ ACCOM1)}$= .35 ; p<.001 ; $r_{(Flow\ S,\ ACCOM2)}$= .43 ; p<.001). La **concentration** des deux essais est corrélée avec la « concentration » du flow ($r_{(Flow\ C,\ CONC1)}$= .58 ; p<.001 ; $r_{(Flow\ S,\ ACCOM2)}$= .57 ; p<.001). Ces liens linéaires étant établis, nous pouvons réaliser des régressions linéaires multiples afin de spécifier les répartitions de variance entre nos variables explicatives.

Tableau 1 : Corrélations entre les indicateurs dynamiques, le flow et les émotions (EMO : émotions ; ACCOM : accomplissement ; CONC : concentration ; SPANE P : émotions positives ; SPANE N : émotions négatives. Flow S : équilibre défi-compétence ; Flow G : clarté buts ; Flow C : concentration ; Flow X : expérience autotélique. Note. * p < .05 ; ** p < .01 ; *** p < .001)

	EMO1	EMO2	ACCOM1	ACCOM2	CONC1	CONC2
SPANE P	0.28***	0.37***	0.23**	0.39***	0.25**	0.33***
SPANE N	-0.24**	-0.34***	-0.16	-0.29***	-0.12	-0.25**
Flow S	0.35***	0.42***	0.43***	0.47***	0.26**	0.34***
Flow G	0.26**	0.39***	0.35***	0.43***	0.28***	0.27***
Flow C	0.20*	0.32***	0.20*	0.28***	0.58***	0.57***
Flow X	0.18*	0.26**	0.24**	0.34***	0.32***	0.35***

Nous réalisons des régressions linéaires multiples par essai pour étudier les liens de construits entre les indicateurs internes et les échelles après le jeu. Pour les variables dépendantes : « émotions positives » (SPANE), « émotions négatives » (SPANE) et « expérience autotélique » (Flow), nous prenons comme variables indépendantes les indicateurs internes d'émotion par essai. Les **émotions positives** après le jeu sont prédites positivement par les émotions durant l'essai 2 (β_{EMO1}=.082 ; p=.363 ; β_{EMO2}=.279 ; p<.001 ; $R^2_{ajusté}$=0.132). Les **émotions négatives** après le jeu sont prédites négativement par les émotions durant l'essai 2 (β_{EMO1}= -.050 ; p=.549 ; β_{EMO2}= -.247 ; p=.001 ; $R^2_{ajusté}$=0.108). **L'expérience autotélique** après le jeu est prédite par les émotions durant l'essai 2 (β_{EMO1}=.070 ; p=.630 ; β_{EMO2}=.309 ; p=.021 ; $R^2_{ajusté}$=0.067). Pour les variables dépendantes « équilibre défi-compétence perçu » et « clarté des objectifs perçus » (Flow), nous prenons comme variables indépendantes les indicateurs internes d'accomplissement par essai. **L'équilibre défi-compétence** perçu après le jeu est prédit positivement par l'accomplissement durant l'essai 1 et 2 (β_{ACCOM1}=.371 ; p<.001 ; β_{ACCOM2}=.449 ; p<.001 ; $R^2_{ajusté}$=0.27). La **clarté des objectifs** après le jeu est prédite positivement par l'accomplissement durant l'essai 1 et 2 (β_{ACCOM1}=.275 ; p=.015 ; β_{ACCOM2}=.429 ; p<.001 ; $R^2_{ajusté}$=0.202). Pour la variable dépendante « concentration » (Flow), nous prenons comme variables indépendantes les indicateurs internes de concentration par essai. Par essai **La concentration** après le jeu est prédite par la concentration durant l'essai 1 et 2 (β_{CONC1}=.608 ; p<.001 ; β_{CONC2}=.490 ; p<.001 ; $R^2_{ajusté}$=0.416).

3.2. Fluctuations des indicateurs dynamiques au cours des essais et des phases du serious game

Nous réalisons des ANOVA à mesures répétées avec comme variable indépendante les deux sessions d'utilisation du serious game (Essai) ou les trois temps de mesures durant un essai (Phase). Nous répertorions les tests significatifs. Les **émotions** évoluent significativement entre le premier et le deuxième essai du jeu ($F[1, 156]=12.9$; $p<.001$; $\eta^2_p= .08$). Des tests post-hoc révèlent que les participants ont ressenti un niveau d'émotion plus important lors de l'essai 2 ($m_{EMO1}=3.79$; $m_{EMO2}=4.00$; $t= -3.59$; $p_{tukey}<.001$). **L'accomplissement** évolue significativement entre le premier et le deuxième essai du jeu ($F[1, 156]=35.4$; $p<.001$; $\eta^2_p=.19$). Les participants ont ressenti un niveau d'accomplissement plus important lors de l'essai 2 ($m_{ACCOM1}=3.42$; $m_{ACCOM2}=3.86$; $t= -5.95$; $p_{tukey}<.001$). L'accomplissement évolue significativement entre les phases de l'essai 1 du SG ($F[1,84, 144.35]=3.23$; $p=.045$; $\eta^2_p=.02$). L'ACCOM de la fin de l'essai 1 est plus élevé que l'ACCOM du milieu ($m_{ACCOM1M}=3.34$; $m_{ACCOM1F}=3.53$; $t= -2.41$; $p_{tukey}=.045$). La **concentration** évolue significativement entre les phases de l'essai 2 du SG ($F[1.66, 256.36]=3.66$; $p=.035$; $\eta^2_p= .023$). La CONC du début de l'essai 2 est plus élevé que celle de fin ($m_{CONC2D}=4.29$; $m_{CONC2F}=4.13$; $t=2.39$; $p_{tukey}=.048$).

3.3. Relation des scores de réussite au serious game et de connaissance avec les motivations initiales et les indicateurs dynamiques

Nous étudions deux scores de performance : un score de réussite à chaque essai du serious game et un score de connaissance mesuré avant et après l'utilisation. Nous observons que les apprenants réussissent mieux le jeu au deuxième essai, qu'ils soient en psychologie ($m_{ObjT1}=0.55$; $m_{ObjT2}=0.69$; $t(107) = -5.70$; $p<.001$; $d_{Cohen}= -.55$) ou en IFSI ($m_{ObjT1}=0.59$; $m_{ObjT2}=0.71$; $t(48) = -4.43$; $p<.001$; $d_{Cohen}= -.63$). Également, nous observons que les apprenants en IFSI réussissent mieux le questionnaire de connaissance après le jeu ($m_{Co1}=0.75$; $m_{Co2}=0.88$; $t(48) = -6.30$; $p<.001$; $d_{Cohen}= -.90$). Nous n'observons pas de lien linéaire (corrélation ou régression) des motivations avant le jeu et des indicateurs dynamiques avec les scores de connaissance.

4. DISCUSSION

4.1. Relation entre les indicateurs dynamiques et les dimensions du flow et des émotions

Les **émotions** de l'essai 2 prédisent positivement les « émotions positives » et « l'expérience autotélique » et négativement les « émotions négatives ». Le souvenir de l'expérience émotionnelle n'est pas uniforme après le jeu et ne semble pas être un simple cumul des émotions ressenties durant le jeu. Ce résultat peut indiquer que les participants reconnaîtraient la valeur intrinsèque du jeu par le biais de leur expérience émotionnelle à la fin de l'essai 2 et de leur expérience de jeu. L'**accomplissement** de l'essai 1 et 2 prédit positivement « l'équilibre défi-compétence perçu » ainsi que la « clarté des objectifs perçus » du flow. La perception de réussite soutient deux conditions d'apparition du flow. Ces liens semblent plus forts au 2e essai, ce qui laisse supposer que l'émotion de flow est davantage propice à apparaître à mesure de l'utilisation du jeu, qui serait relevée par nos indicateurs au moins sur ces deux dimensions. La **concentration** de l'essai 1 et 2 explique positivement la concentration mesurée par l'échelle de flow. Cela nous indique que l'impression de concentration se base sur l'ensemble de l'utilisation du serious game. Ces liens de construits étant établis, nous pouvons analyser les fluctuations des indicateurs dynamiques au fur et à mesure des essais et des phases.

4.2. Fluctuation des indicateurs dynamiques

Les ANOVA mettent en évidence des fluctuations spécifiques des indicateurs au cours du serious game. On observe que d'un essai à l'autre la mesure **d'émotion** augmente, les apprenants avaient l'impression de se sentir mieux. Cette relation apparaît uniquement entre les essais et pas entre les phases des essais. La formulation de l'item d'émotion « Comment vous sentez-vous à cet instant ? »

peut induire une auto-évaluation générale d'aller bien ou non. Les mécaniques du jeu étant similaires tout le long d'un essai, cette émotion est donc peut-être apte à véritablement fluctuer après la fin de l'essai 1, un moment où l'apprenant peut faire un bilan de son expérience. Il en retirerait un sentiment de bien-être général qui se répercuterait tout le long de l'essai 2 qu'il maîtriserait mieux.

La mesure **d'accomplissement** augmente également entre les essais au serious game mais aussi entre le milieu et la fin de l'essai 1. Ce résultat doit être mis en relation avec la structure des feedbacks du serious game. En effet, les participants pouvaient évaluer visuellement leur niveau de réussite durant le serious game ce qui pouvait soutenir directement leur sentiment d'accomplissement. Comme il y avait deux essais au serious game, les apprenants pouvaient se souvenir des bonnes réponses du premier essai et corriger leurs erreurs lors du deuxième ce qui a pu renforcer davantage leur sentiment de réussite (les scores de performance au jeu augmentant d'ailleurs significativement d'un essai à l'autre). L'évolution de l'accomplissement durant l'essai 1 montre que cet indicateur aurait également le potentiel de repérer des fluctuations fines du sentiment d'accomplissement durant les essais. Il serait intéressant d'étudier cette propriété en faisant varier la clarté des feedbacks de réussite proposés à l'apprenant.

La **concentration**, contrairement aux autres indicateurs dynamiques, a diminué entre le début et la fin du deuxième essai au serious game. On peut interpréter la baisse de la concentration au deuxième essai comme la baisse des ressources attentionnelles qui surviendrait suite à un effort cognitif prolongé. On peut également penser à un désengagement progressif des apprenants en anticipation de la fin du jeu. Cet indicateur serait intéressant à étudier au regard du niveau d'expertise des apprenants en fonction des thématiques d'apprentissage.

4.3. Limite

Le fait d'interroger les participants durant l'utilisation revient à interrompre le déroulement de la situation, ce qui a pu biaiser la dynamique motivationnelle que l'on cherchait justement à mesurer. A défaut d'être empêché, nous pensons que ce biais peut être minimisé en utilisant peu d'items et en les positionnant à des moments stratégiques de l'expérience d'apprentissage (entre deux exercices par exemple). Pour soutenir cette position, on peut citer Derbali et Frasson (2012) qui ont posé un questionnaire de motivation plusieurs fois entre cinq chapitres d'un serious game. Leurs résultats montrent l'existence de patterns physiologiques et électroencéphalographiques révélateurs de l'attention et du sentiment de confiance en sa réussite durant l'utilisation (des dimensions motivationnelles). Il serait ainsi possible d'inclure des questionnaires temporellement proches de l'utilisation du jeu sans complètement interférer avec le processus motivationnel en cours. Il reste à étudier dans quelle mesure et quelles composantes des motivations seraient bel et bien résistantes à ce type d'interruption.

4.4. Perspectives

Nos analyses n'ont pas montré de liens directs entre les indicateurs dynamiques et un questionnaire de connaissance positionné après le jeu malgré une augmentation significative des connaissances. Si la motivation permet à l'apprenant de rester engagé, il n'est pas certains qu'il déploiera les comportements nécessaires à son apprentissage. De plus, mesurer des connaissances ne signifie pas que l'on mesure bel et bien l'apprentissage, on ne peut que l'inférer à partie de la performance. Au regard de la pluralité de phénomène lié à l'UX durant un serious game, il faut ainsi envisager que les relations entre les motivations et la performance sont difficilement linéaires. Une réflexion doit être menée au niveau de la conception ergonomique et didactique des outils numériques pédagogiques pour rendre cohérentes les mécaniques d'utilisation de l'outil avec les processus cognitifs des apprenants (Chung, 2015). L'analyse qualitative des caractéristiques des outils d'apprentissage

numériques sur l'UX serait ainsi très pertinente en période de conception, et il serait intéressant de la coupler à l'analyse de la dynamique motivationnelle. Sur le plan motivationnel, il est possible d'envisager l'étude d'autres indicateurs situationnels potentiellement pertinents comme l'ennui, la fatigue ou bien la difficulté perçue. Enfin, les traces numériques (comme les comportements d'utilisation) constituent des mesures implicites et non-invasives qu'il serait intéressant de coupler à ces indicateurs psychologiques afin de dresser une analyse plus complète entre les motivations, les processus cognitifs et l'apprentissage.

4.5. Conclusion

L'objectif de cette recherche était d'étudier des mesures en lien avec les motivations au plus proche de l'expérience d'utilisation d'un serious game. Nos résultats montrent la possibilité de mesurer des construits liés aux motivations utilisateurs directement durant l'utilisation d'un serious game. Ces premiers indicateurs pourvoient une compréhension de l'expérience motivationnelle utilisateur durant les serious game. Ces résultats apportent de premières pistes permettant d'étudier la relation entre les motivations et l'apprentissage dans le cadre de l'utilisation d'un serious game.

6. REFERENCES

Chung, G. (2015). *Guidelines for the Design and Implementation of Game Telemetry for Serious Games Analytics*. 59-79. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05834-4_3

Derbali, L. & Frasson, C. (2012). Assessment of learners' motivation during interactions with serious games: A study of some motivational strategies in food-force. *Advances in Human-Computer Interaction*, *2012*. https://doi.org/10.1155/2012/624538

Demontrond, P. & Gaudreau, P. (2008). Le concept de « flow » ou « état psychologique optimal » : état de la question appliquée au sport. *Staps*, 79, 9-21. https://doi.org/10.3917/sta.079.0009

Diener, E., Wirtz, D., Tov, W., Kim-Prieto, C., Choi, D. W., Oishi, S. & Biswas-Diener, R. (2010). New well-being measures: Short scales to assess flourishing and positive and negative feelings. *Social indicators research*, 97 (2), 143-156. https://doi.org/10.1007/s11205-009-9493-y

Fournier, J., Gaudreau, P., Demontrond-Behr, P., Visioli, J., Forest, J. & Jackson, S. (2007). French translation of the Flow State Scale-2: Factor structure, cross-cultural invariance, and associations with goal attainment. *Psychology of sport and exercise*, 8(6), 897-916. doi:10.1016/j.psychsport.2006.07.007

Girard, C., Ecalle, J. & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools : How effective are they? A meta-analysis of recent studies: Serious games as educational tools. *Journal of Computer Assisted Learning*, *29*(3), 207-219. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x

Guardiola, E., Natkin, S., Soriano, D., Loarer, E., Vrignaud, P., Boy, T. & Dosnon, O. (2012). Du jeu utile au jeu sérieux (serious game). *Hermès, La Revue*, (1), 85-91. https://doi.org/10.4267/2042/48283

Hamari, J., Koivisto, J. & Sarsa, H. (2014, January). Does gamification work?--a literature review of empirical studies on gamification. In *2014 47th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 3025-3034). Ieee.

Kujala, S., Miron-Shatz, T., & Jokinen, J. J. (2019). The Cross-Sequential Approach: A Short-Term Method for Studying Long-Term User Experience. *Journal of Usability Studies*, *14*(2).

Laguardia, J. G. & Ryan, R. M. (2000). Buts personnels, besoins psychologiques fondamentaux et bien-être: théorie de l'autodétermination et applications. *Revue québécoise de psychologie*, *21*(2).

Maia, C. L. B., & Furtado, E. S. (2016). A Systematic Review About User Experience Evaluation. In A. Marcus (Éd.), *Design, User Experience, and Usability : Design Thinking and Methods* (Vol. 9746, p. 445-455). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40409-7_42

Moizer, J., Lean, J., Dell'Aquila, E., Walsh, P., Keary, A. (Alfie), O'Byrne, D., Di Ferdinando, A., Miglino, O., Friedrich, R., Asperges, R., & Sica, L. S. (2019). An approach to evaluating the user experience of serious games. *Computers & Education*, *136*, 141-151. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.006

Nakamura, J. & Csikszentmihalyi, M. (2009), Flow theory and research. Dans Snyder, C. R. & Lopez, J. (Eds.), *The Oxford Handbook of Positive Psychology* (p. 195-206). Oxford University Press.

Perttula, A., Kiili, K., Lindstedt, A., & Tuomi, P. (2017). Flow experience in game based learning – a systematic literature review. *International Journal of Serious Games*, *4*(1). https://doi.org/10.17083/ijsg.v4i1.151

Sarrazin, P., Famose, J. P., & Cury, F. (1995). But motivationnel, habileté perçue et sélection du niveau de difficulté d'une voie en escalade. *STAPS: Revue internationale des sciences du sport et de l'éducation physique*, *38*, 49-61.

Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured?. *Social science information*, *44*(4), 695-729.

Smith, S.P., Blackmore, K., Nesbitt, K. (2015). A Meta-Analysis of Data Collection in Serious Games Research. In: Loh, C., Sheng, Y., Ifenthaler, D. (eds) Serious Games Analytics. Advances in Game-Based Learning. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05834-4_2

Spikman, J., & Van Zomeren, E. (2010). Assessment of attention. *The handbook of clinical neuropsychology*, 81-96.

Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H. & van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249 265. https://doi.org/10.1037/a0031311

CC : *Acceptabilité du FALC en école élémentaire française : Apport du Modèle UTAUT-2*

Floriane Balssa & Véronique Lespinet-Najib
Université de Bordeaux, Laboratoire IMS, floriane.balssa@u-bordeaux.de
Bordeaux Inp, Laboratoire IMS, veronique.lespinet-najib@ensc.fr

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'apport théorique du modèle UTAUT-2 pour identifier les facteurs pouvant influencer l'acceptabilité des règles FALC (Facile A Lire et à Comprendre) dans les pratiques professionnelles des enseignants. Une étude par questionnaire nous a permis de mieux comprendre l'intérêt des enseignants pour les règles FALC mais aussi leurs inquiétudes. A partir de l'analyse des résultats du questionnaire, nous avons pu construire 7 personae d'enseignants. Il nous semblait ensuite intéressant de questionner les critères d'acceptabilité des règles FALC en nous basant sur ces personae afin de garantir une meilleure acceptabilité de ces règles lors des études terrain. Nous présentons ici l'adaptation du modèle UTAUT-2 comme support de réflexion théorique pour opérationnaliser les facteurs d'acceptabilité à notre situation d'étude.

MOTS-CLÉS

Acceptabilité, Règles FALC, Enseignement, Adaptation, UTAUT2

1. INTRODUCTION

Le Facile à Lire et à Comprendre ou FALC (Inclusion Europe, 2009) est un ensemble de règles européennes permettant de simplifier l'information afin de la rendre plus accessible par tous. Ces règles concernent toutes personnes ayant des difficultés de lecture et de compréhension. En France, elles sont peu connues dans le domaine de l'éducation et sont surtout utilisées dans le secteur du handicap mental. Néanmoins, elles pourraient être intéressantes pour adapter les textes aux élèves ayant une faible maîtrise de la langue afin de les aider à comprendre un texte (Mazeau et Loty, 2020).

Il nous semblait donc intéressant de questionner l'intérêt des règles FALC dans la pratique professionnelle des enseignants pour l'accompagnement des élèves à besoins éducatifs particuliers. Avant de tester l'usage de ces règles FALC par les enseignants, plusieurs questions se posent. Comment les enseignants perçoivent-ils le FALC ? Quels enseignants seraient susceptibles de l'utiliser ? Qu'est-ce qui les inciterait ou les dissuaderait de le mettre en place ? Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé une enquête préliminaire (Balssa et Lespinet, 2022) et identifié des profils d'enseignants. En se basant sur ces profils, il nous paraissant indispensable de questionner l'acceptabilité du FALC dans les pratiques professionnelles dans enseignants, en se basant sur les modèles existants. Les modèles d'acceptabilité sont en effet pertinents pour anticiper le rejet ou adoption d'une technologie lorsqu'il n'y a pas eu de confrontation effective (Bobillier Chaumon, 2016). L'objectif étant d'assurer l'usage, a priori, de l'outil grâce à une satisfaction minimum.

2. METHODOLOGIE : CLUSTERING ET PERSONA

Nous avons donc réalisé une enquête préliminaire par questionnaire (Balssa et Lespinet, 2022) pour comprendre la perception des enseignants. Au début du questionnaire, les répondants avaient accès à un exemple de texte en FALC et une présentation rapide des règles FALC. Les 499 répondants étaient

en majorité des femmes (86 %) et étaient âgés de 41 à 50 ans (38%). Tous les départements français et tous les niveaux scolaires (CP à CM2) étaient représentés. Sur l'échantillon des répondants ne connaissant pas les règles FALC (91%, n = 454), nous avons appliqué une Analyse des Correspondances Multiples (*ACM*) qui nous a permis de conserver les 6 axes les plus représentatifs (58,9 % de la variance totale) et de passer de données qualitatives à des données quantitatives. Enfin, nous avons appliqué une Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) sur les données pour mettre en lumière les regroupements d'individus similaires. Afin d'améliorer la partition obtenue nous avons ensuite appliquer une consolidation par k-means. Cela nous a permis d'obtenir 4 regroupements. Ces regroupements nous ont permis de construire 4 personae définis comme « des archétypes d'utilisateurs […] permettant de représenter et décrire les buts, besoins et caractéristiques des différents groupes d'utilisateurs. » (Lallemand et Gronier, 2015, p. 306).

Concernant la part de répondants connaissant le FALC (9%), l'échantillon n'était pas suffisant pour établir le même traitement statistique et nous avons donc défini 2 personae en nous basant d'un côté sur les répondants connaissant mais n'utilisant pas le FALC et de l'autre sur les répondants utilisant le FALC. De plus, nous avons réalisé 5 entretiens auprès d'enseignants (recrutés via notre questionnaire). Ces entretiens nous ont également permis d'enrichir les personae et d'ajouter les enseignants spécialisés dans l'analyse. Nous nous sommes donc basés sur les profils issus des analyses statiques, et les données qualitatives comme le ressenti des répondant ou les situations qu'ils ont vécu. Enfin afin de valider nos personae, nous avons présenté nos personae à 2 autres enseignants exerçant depuis plus de 20 ans donc ayant une bonne connaissance des réalités et des pratiques professionnelles. L'objectif était pour nous de vérifier si nos personae reflétait vraiment la réalité du terrain. Notre démarche, reposant sur le questionnaire, les analyses statistiques, les entretiens, et une phase de validation, nous a permis de consolider 7 personae :

- 2 personae qui ne connaissent pas le FALC mais qui sont intéressés :
    - L'un gère une classe de CE1 en REP[10] avec de grosses difficultés de communication.
    - L'autre gère 3 niveaux (CE2, CM1, CM2) dont un élève avec des troubles cognitifs.
- 1 persona qui ne connaît pas le FALC et ne sait pas si ça l'intéresse.
- 1 persona qui ne connaît pas le FALC et n'est pas intéressé.
- 1 persona qui connaît le FALC mais ne l'utilise pas.
- 1 persona qui connaît et qui utilise le FALC.
- 1 persona enseignante spécialisée qui ne connaissait pas le FALC mais est intéressé.

Chacun de nos personae est construit selon les axes qui se sont dégagés suites aux questionnaires et entretiens. Ils se divisent 6 rubriques (cf. Figure 1) : Identité / Ecole / Points forts / Difficultés et besoins / Adaptations mises à l'école / Rapport au FACL (connaissance, formation, attentes, interrogations…). Un verbatim issu des questionnaires illustre la pensée du persona. Ces personae permettent d'illustrer la pluralité des profils d'enseignants confrontés à des situations variées, qui interviennent dans des environnements scolaires différents, auprès d'élèves ayant des besoins diverses. Cependant, tous s'interrogent sur la mise en place du FALC et ses conséquences sur les élèves et leur pratique. En se projetant dans une intention d'usage, les enseignants ont mis en avant des facteurs pouvant impacter l'acceptabilité du FALC. Il est donc important de les identifier pour adapter au mieux le FALC avant son usage effectif en classe.

[10] Réseau d'Education Prioritaire

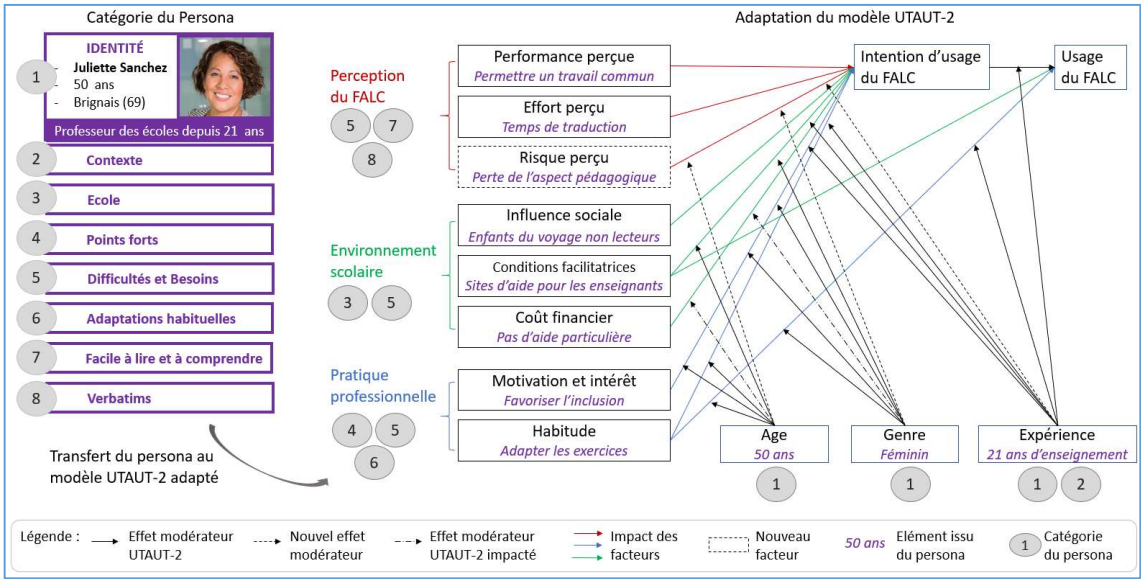
3. ACCEPTABILITE THEORIQUE DU FALC : APPORT DU MODELE UTAUT-2

3.1. Choix du modèle d'acceptabilité.

Notre objectif est donc d'utiliser le travail précédent pour définir un modèle d'acceptabilité, à priori, du FALC par les enseignants pour l'adapter son usage réel. L'acceptabilité peut se définir comme les « conditions qui rendent ce produit ou service acceptable (ou non) par l'utilisateur avant son usage réel et effectif » (Terrade et al., 2009, p.9). Les modèles d'acceptabilité les plus utilisés sont le Technology Acceptantce Model ou TAM (Davis, 1989) et ses déclinaisons comme l'UTAUT-2 (Venkatesh et al., 2012), que nous avons choisi d'utiliser. Le modèle UTAUT-2, centré sur l'intention d'usage, est appliqué dans un contexte de consommation et non d'organisation comme l'UTAUT (Venkatesh et al., 2003). Le coût, l'expérience et les habitudes sont déterminants dans le modèle UTAUT-2 contrairement à son prédécesseur. Les retours enseignants issus du terrain, suggèrent que le coût des règles FALC et la motivation de l'enseignant pour les utiliser sont des éléments à considérer ce qui place donc l'enseignant dans la situation du consommateur. Les habitudes liées à l'usage d'un système sont également à considérer car ils peuvent déterminer si l'enseignant utilisera un nouveau système ou non. Ainsi, le Modèle UTAUT-2, nous paraît plus pertinent pour questionner l'acceptabilité *a priori* des règles FALC par les enseignants en école élémentaire.

3.2. Les facteurs influençant l'intention d'usage et l'utilisation du FALC

Les interrogations, craintes, espoirs et habitudes des enseignants, illustrés par les personae, ont été transposés dans le modèle UTAUT-2 pour identifier les facteurs susceptibles d'influencer l'acceptabilité des règles FALC dans le contexte scolaire.



<u>Figure 1 :</u> Transfert d'un persona au modèle UTAUT-2 adapté à l'usage du FALC en école élémentaire française.

Ainsi, la Figure 1 un exemple de persona transposé au modèle UTAUT-2 que nous avons adapté à l'usage du FALC en contexte scolaire. Tous d'abord nous avons identifié 3 catégories de facteurs : les facteurs fortement dépendant de l'enseignant, à savoir sa perception du FALC, et sa pratique professionnelle, puis les facteurs qui ne dépendent pas uniquement de l'enseignant mais de l'environnement scolaire dans lequel il évolue.

La catégorie ***Perception du FALC*** *reprend le facteur de* ***performance perçue*** *(*correspondant à l'utilité perçue du FALC par l'enseignant dans la pratique professionnelle), d'***_effort perçu_** (par l'enseignant

pour apprendre, adapter et utiliser les règles FALC dans ses pratiques) et nous avons ajouté le facteur ***risque*** (étant le risque perçu par l'enseignant en utilisant le FALC au sein de sa classe.

Concernant ***L'Environnement scolaire***, nous retrouvons l'***influence sociale*** (soit l'importance que l'enseignant porte à la vision de l'institution, des pairs, des parents d'élèves… sur les règles FALC), les **conditions facilitatrices** (défini comme le soutien perçu par l'enseignant de la part de son institution, dans l'usage des règles FALC) et le ***coût financier*** (correspondant au compromis entre les possibilités financières à disposition de l'enseignant et l'intérêt perçu du FALC).

Enfin, la catégorie ***Pratique professionnelle*** englobe la ***motivation et l'intérêt*** (qui ne correspond pas ici à la motivation hédonique du modèle mais à la motivation et à l'intérêt de l'enseignant pour apprendre et utiliser les règles FALC) et l'**habitude** (correspond à l'Influence des habitudes de l'enseignant en termes d'adaptation pédagogique sur l'usage du FALC).

L'âge, le genre et l'expérience des enseignants vont modérer les précédents facteurs. Cependant, leur modération sur les risques perçus doit être approfondie. La modération de l'âge et le genre sur le coût financier sont également à reconsidérer car l'achat n'est pas réalisé dans un but personnel et ne dépend pas d'un budget propre à l'enseignant mais plus globalement à l'établissement scolaire.

Enfin, selon le profil du persona, les facteurs susceptibles d'influencer l'acceptabilité du FALC auront un poids différent qu'il faudra considérer pour proposer une méthode adaptée. Les numéros ajoutés correspondant notamment au catégorie des personae dans lesquels nous avons trouvé les exemples écrits en violet. Ils permettent d'identifier les freins et leviers potentiels pour l'usage. Ici, l'enseignante expérimentée connaissait le FALC mais ne l'appliquait pas. Elle perçoit le FALC comme un moyen de proposer un enseignement commun, y voit un intérêt pour favoriser l'inclusion, à l'habitude d'adapter ses execices et a fait des recherches sur des sites spécialisé pour l'aider. Cependant elle s'inquiète du temps necessaire pour traduire en FALC, du non respect de l'aspect pédagogique et n'a pas d'aide financière particulière. Ainsi, nous pouvons identfier l'expérience, la motivation, l'habitude et les conditions facilitatrices comme des leviers pour favoriser l'intention et l'usage du FALC. En revanche, l'effort et le risque perçut représente des freins non négilgeables qu'il faudra prendre en compte dans l'adaptation du FALC pour ce contexte scolaire.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le modèle que nous proposons est dérivé de l'UTAUT-2 et basé sur la méthode des personae qui s'appuie sur des données terrains. Il vise à questionner, en amont de la conception, les facteurs influençant l'acceptabilité des règles FALC dans les pratiques des enseignants en école élémentaire française afin d'assurer son acceptabilité et de favoriser son usage par les enseignants. Il permet de se questionner sur les freins et les leviers à prendre en compte pour concevoir une solution FALC adaptée. Ce modèle sera donc un support pour identifier les facteurs sur lesquels agir selon le profil de l'enseignant et son environnement scolaire. Il nous permettra de questionner les moyens pour opérationnaliser ces facteurs et servira de grille pour construire les métriques d'analyse (temps de traduction, fluence verbale…) en situation réelle. Ce modèle, basé sur l'intention d'usage, est un support pour adapter le FALC et préparer le terrain à son usage mais ne garantit pas son acceptation en situation réelle ni son adoption à long terme. En effet, certains auteur émettent des réserves épistémologiques et méthodologique car ce type de modèle *« évacuent en effet les contraintes et les contradictions propres à l'activité telle « qu'elle se fait » «* (Bobillier Chaumon, 2016) . Il s'agit donc ensuite d'étudier ce FALC sous le prisme de l'acceptation située (Bobillier Chaumon, 2016) qui s'intéresse à l'usage réelle de l'outil dans un contexte d'activité. Cette approche nous permettra notamment de considérer l'acceptabilité du FALC selon la situation étudiée.

5. BIBLIOGRAPHIES

Balssa, F., Lespinet-Najib,V., Les enseignants en école élémentaire française connaissent-ils le Facile à Lire et à Comprendre (FALC) ? Enquête par questionnaire. Conférence Handicap 2022 - Paris, 8-10 juin 2022.

Bobillier Chaumon, M.-E. (2016). L'acceptation située des technologies dans et par l'activité : Premiers étayages pour une clinique de l'usage. Psychologie du Travail et des Organisations, 22(1), 4-21.

Davis, F., & Davis, F. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. MIS Quarterly, 13, 319. https://doi.org/10.2307/249008

Inclusion Europe. (2009). Information for all : European standards for making information easy to read and understand *Inclusion Europe*. https://www.inclusion-europe.eu/easy-to-read-standards-guidelines/

Lallemand, C., & Gronier, G. (2015). *Méthodes de design UX: 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. Editions Eyrolles.

Mazeau, M., & Loty, G. (2020). *Dys: Outils et adaptations dans ma classe*. Retz.

Terrade, F., Pasquier, H., Reerinck-Boulanger, J., Guingouain, G., & Somat, A. (2009). L'acceptabilité sociale: la prise en compte des déterminants sociaux dans l'analyse de l'acceptabilité des systèmes technologiques. Le travail humain, 72(4), 383–395.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.

Venkatesh, V., Thong, J. Y., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*, 157-178.

CC : *Acceptabilité d'un dispositif médical connecté : une étude préliminaire réalisée auprès d'étudiants en soins infirmiers*

Daphné Leleu & Emilie Loup-Escande
UR UPJV 7273 CRP-CPO, Chemin du Thil, 80025 Amiens Cedex
daphne.leleu@u-picardie.fr ; emilie.loup-escande@u-picardie.fr

RÉSUMÉ

Dans un contexte de sous-effectif dans les services hospitaliers, l'implantation d'une nouvelle technologie pourrait être confrontée à des refus ou entrainer des difficultés supplémentaires dans une activité déjà complexe et intense. Dans le but d'amoindrir ces risques, et de faciliter in fine l'implantation d'un dispositif médical connecté dans des services (par ex., chirurgie digestive), cette communication décrit une étude sur l'acceptabilité sociale afin d'en comprendre les facteurs. Seize étudiants en soins infirmiers ont visionné une vidéo du dispositif avant de répondre à un questionnaire basé sur l'UTAUT. Les résultats montrent une corrélation positive de la performance attendue, de l'effort perçu, des conditions facilitatrices et de l'influence sociale sur l'intention d'adopter cette technologie par des étudiants en soins infirmiers, considérés comme futurs utilisateurs. Quatre perspectives sont finalement envisagées.

MOTS-CLÉS

Dispositif Médical Connecté, acceptabilité sociale, étudiants en soins infirmiers, UTAUT, m-santé

1. INTRODUCTION

Le projet *SmartAngel* consiste à développer des solutions mobilisant l'intelligence artificielle et les objets connectés en vue de faciliter la surveillance et l'accompagnement des patients tout au long de leur parcours de soins. Cette étude s'intéressera plus particulièrement au dispositif développé dans le cas d'usage « intrahospitalier », et, de fait, destiné aux patients nécessitant un suivi interne à l'hôpital, toutes spécialités médicales confondues. Le dispositif est composé d'un terminal mobile d'alerte (TMA), d'un dispositif médical connecté (DMC) en lui-même, d'une passerelle de communication et d'un logiciel de gestion. Le DMC, principal élément du dispositif, permet de détecter les anomalies liées au taux d'oxygène dans le sang, à la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. Toutes les informations sont restituées aux soignants *via* le TMA, qui émettra des alertes sonores en cas de changement des constantes susceptible de représenter un risque pour le patient.

Les DMC font partie de la *m-santé* (mobile santé) définie comme « les pratiques médicales et de santé publique supportée par des appareils mobiles »[11]. Les technologies de ce type ont pour vocation l'amélioration de la prise en charge des patients, notamment dans le cas d'urgences liées à des constantes anormales, ils sont d'ailleurs considérés comme des assistants à part entière à la pratique médicale (Sebai, 2020). Que ce soit de façon positive ou négative, la mise en place d'une technologie dans une situation de travail est vectrice de modifications au sein de l'organisation du travail. Dans la littérature investiguant les impacts de nouvelles technologies dans le milieu médical, certaines

[11] Haute Autorité de Santé, *La e-santé & la m-santé, des avantages concrets pour vos patients*. 2021

interrogations du personnel médical pourraient expliquer la méfiance envers leur implantation. La charge de travail qui pourrait s'alourdir avec un nouveau dispositif est une inquiétude qui revient fréquemment (Defossez, 2020; Habib et al., 2017), ainsi que la définition et la répartition des nouvelles tâches qui accompagnent ce changement et pourraient mettre en difficulté l'organisation des soignants. Enfin, la relation entre soignants et patients (Chambard, 2019) est également modifiée, que ce soit en termes de redéfinition du fonctionnement du système de santé (Habib et al., 2017), ou par rapport à l'invisibilisation du travail relationnel des soignants (Defossez, 2020).

En réponse à ces freins, l'objectif de cette étude est de comprendre les facteurs susceptibles d'impacter l'intégration et l'appropriation du dispositif intrahospitalier *SmartAngel* auprès d'une population de potentiels futurs utilisateurs, c'est-à-dire son acceptabilité. Cette dernière est investiguée dans la littérature scientifique selon trois acceptions (Bobillier-Chaumon & Dubois, 2009, p.356) : l'acceptabilité pratique, sociale et située. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressées à l'acceptabilité sociale qui nous a semblé être la plus pertinente pour identifier les facteurs en amont de l'implantation du dispositif, pour deux raisons. Premièrement, l'approche de l'acceptabilité sociale est utilisée aux prémices de l'implantation d'une technologie dans une situation réelle, plus exactement avant et pendant cette étape. Elle est, par conséquent, pertinente compte tenu du dispositif en cours de conception et qui va prochainement entrer dans la phase des essais cliniques. Deuxièmement, l'accès à la population étant particulièrement difficile dans le secteur médical, il nous a paru pertinent de mobiliser une population d'étudiants en soins infirmiers qui seront de potentiels futurs utilisateurs de ce type de dispositif dans leur pratique. Pour implémenter notre étude, le modèle enrichi par Venkatesh et al. (2003, 2008) de l'UTAUT a été utilisé afin de prédire les attitudes et comportements des futurs utilisateurs (Brangier et al., 2010) au regard des déterminants identifiés dans le questionnaire associé (par ex., la performance attendue). La section 2 détaille les aspects méthodologiques de l'étude. La section 3 expose les résultats qualitatifs et quantitatifs du questionnaire. Enfin, la section 4 propose une discussion de ces derniers en regard de la littérature.

2. METHODOLOGIE

2.1. Population

L'accès à une population de soignants dans le contexte hospitalier actuel étant particulièrement difficile, cette étude mobilise 16 étudiants en soins infirmiers, potentiels futurs utilisateurs de ces technologies (Moy. = 24 ans ; Min = 18 ans ; Max = 45 ans). En outre, cette population présente des caractéristiques proches des réels utilisateurs finaux du projet *SmartAngel*, dans la mesure où ces étudiants sont confrontés dès la première année à leur future activité professionnelle dans le cadre de stages. L'échantillon incluait des étudiants ayant tout niveau d'étude du parcours de formation aux soins infirmiers ainsi que ceux réalisant une année supplémentaire dans le cadre de spécialisation (10 personnes en 1ère année, 3 personnes en 2ème année, 1 personne en 3ème année, 2 personnes en 4ème année ou année de spécialisation).

2.2. Méthode de recueil de données

Le protocole de recueil de données consistait en un questionnaire socio-démographique, une vidéo de 2 minutes présentant le dispositif incluant le TMA et le DMC ainsi que ses principales fonctionnalités et un questionnaire basé sur le modèle de l'UTAUT. La première partie du questionnaire présente d'abord des questions démographiques afin de situer plus précisément la population notamment dans son niveau d'étude. S'ensuivent des questions pour situer les habitudes d'utilisation de technologie de santé dans différents cadres de vie (scolaire, professionnel et personnel) ; le dispositif n'étant pas encore prêt à être déployé, le facteur expérience proposé par l'UTAUT (Venkatesh et al., 2008) ne pouvait pas être mobilisé, nous souhaitions tout de même avoir une première réflexion sur celle-ci. La seconde partie du questionnaire regroupe des questions tirées

de l'UTAUT, dans lequel la performance attendue, l'intention de comportement, l'influence sociale et les conditions facilitatrices ont été évaluées par 3 items chacun, l'effort attendu par 4 items et l'utilisation volontaire par un item. Une partie constituée de questions ouvertes sur le point de vue subjectif des participants (par ex., « Selon vous, comment faciliter la mise en place d'un tel dispositif dans un service hospitalier ? ») clôture le questionnaire.

La diffusion de ces questionnaires, incluant la vidéo, a été réalisée auprès d'Instituts de Formation aux Soins Infirmiers et *via* les réseaux sociaux (Facebook et LinkedIn).

3. RESULTATS

Les résultats ont montré des corrélations positives significatives de l'effort attendu ($r = 0.905$; $p < .001$), l'influence sociale ($r = 0.769$; $p < .001$), la performance attendue ($r = 0.655$; $p = .003$) et les conditions facilitatrices ($r = 0.644$; $p = .004$) sur l'intention d'utilisation du dispositif. En revanche, nous ne retrouvons pas d'effet modérateur de la volonté d'utilisation sur l'influence sociale ($z = 0.403$; $p = .683$).

Les réponses qualitatives au questionnaire ont montré des interrogations concernant six points. Le premier point porte sur la quantité de matériel nécessaire au chargement *(« faudrait-il de nombreux boîtiers de chargeur de transfert ? »).* Le second concerne les délais de transmission des données. Le troisième fait référence au déploiement de ce dispositif dans les services hospitaliers pour lequel les réponses concordent pour un ensemble d'information et de formation complète à l'aide d'intervention, de formation et de guides *(« En expliquant, faisant de l'éducation aux soignants » ; « Avec une petite formation ou livret explicatif avant son utilisation »)*. Le quatrième aspect correspond à la nécessité de prouver lors de la présentation du dispositif l'efficacité en termes de temps et de fiabilité des données. Le cinquième point est la nécessité d'un système informatique sérieux, fiable et de bonne qualité a également été évoquée. Enfin, le point noir relevé par certains participants se dirige vers le format du dispositif, qui pourrait être considéré comme « gênant » sur une longue période, voire « inadapté » pour certains profils de patients *(« Selon moi dispositif non adapté aux personnes âgées plus particulièrement démentes »).*

4. DISCUSSION / CONCLUSION

Cette étude nous permettait de comprendre *a priori* les facteurs d'acceptabilité du dispositif médical connecté auprès des soignants exerçant en intrahospitalier. L'intérêt particulier était notamment de définir les facteurs à considérer et les conditions facilitatrices favorisant l'intégration dans l'activité des soignants, et l'appropriation des dispositifs une fois ceux-ci intégrés dans les activités professionnelles.

Si l'approche de l'acceptabilité sociale ne constitue qu'une première réflexion sur l'intégration de ce dispositif connecté dans le milieu médical, notre étude nous informe sur certaines variables impactant l'acceptabilité perçue en amont de l'implantation en situations écologiques et les résultats sont cohérents avec ceux de recherches antérieures sur l'UTAUT (Kim et al., 2016; Wills et al., 2008). Ceci dit, l'échantillon restreint ne permet pas de directement généraliser à l'ensemble de la future population utilisatrice. Il résulte de ce constat deux perspectives de recherche. Une première perspective serait de réaliser un travail collaboratif avec du personnel soignant actif et réel utilisateur de ce dispositif connecté en vue de faciliter le processus d'intégration de cette technologie, selon une perspective de conception centrée-utilisateur (Boutrouille et al., 2021). Une seconde perspective serait de reproduire cette étude auprès d'une population d'infirmier.e.s actifs.

Par ailleurs, cette étude ne concerne que des représentations *a priori* de la technologie mais ne s'intéresse pas à l'acception située. En ce sens, une troisième perspective de recherche viserait à accéder à une compréhension plus profonde des facteurs situés d'acceptation dans les services

hospitaliers, notamment grâce à l'analyse des activités ainsi médiatisées (Bobillier Chaumon & Clot, 2016) et en questionnant la satisfaction des utilisateurs du dispositif (Brangier et al., 2010).

Enfin, lors de la future implantation du dispositif, il serait nécessaire de mettre en place un accompagnement au changement afin de faciliter la transformation du parcours de soins que cette technologie implique (Seguin & Tassy, 2022). Une étape de formation et d'information a notamment été suggérée dans les réponses apportées au questionnaire et pourrait être articulée autour d'une présentation du dispositif et de ses avantages, d'une formation à l'utilisation du dispositif et d'un suivi régulier de l'utilisation du dispositif.

5. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ETHIQUES

Cette communication s'inscrit dans le cadre du projet SMART ANGEL et est soutenue financièrement par la Région Haut-De-France et FEDER ainsi que par le Programme d'Investissements d'Avenir (PIA) dans le cadre du programme des « Projets de Recherche et Développement Structurants pour la Compétitivité » PSPC 5.

6. BIBLIOGRAPHIE

Bobillier Chaumon, M.-É., & Clot, Y. (2016). Clinique de l'usage : Les artefacts technologiques comme développement de l'activité: Synthèse Introductive au dossier. *Activites*, *13*(2). https://doi.org/10.4000/activites.2897

Bobillier-Chaumon, M.-É., & Dubois, M. (2009). L'adoption des technologies en situation professionnelle : Quelles articulations possibles entre acceptabilité et acceptation ? *Le travail humain*, *72*(4), 355-382. https://doi.org/10.3917/th.724.0355

Boutrouille, M., Dordain, F., & Loup-Escande, E. (2021, juillet 6). *Vers l'acceptation des robots industriels par une conception centrée-utilisateur d'un logiciel de paramétrage*. 11ème Colloque EPIQUE, Lille.

Brangier, É., Hammes-Adelé, S., & Bastien, J.-M. C. (2010). Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies : De l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation. *European Review of Applied Psychology*, *60*(2), 129-146. https://doi.org/10.1016/j.erap.2009.11.002

Chambard, C. (2019). Comment accélérer le déploiement de l'e-santé en France ?Rôle des principaux acteurs dans le diabète. *Les Tribunes de la santé*, *60*(2), 51-61. https://doi.org/10.3917/seve1.060.0051

Defossez, A. (2020). Introduire la télésanté à l'hôpital. Observations sociologiques dans un service oncologie. *Marché et organisations*, *38*(2), 61-79. https://doi.org/10.3917/maorg.038.0061

Habib, J., Béjean, M., & Dumond, J.-P. (2017). Appréhender les transformations organisationnelles de la santé numérique à partir des perceptions des acteurs: *Systèmes d'information & management*, *Volume 22*(1), 39-69. https://doi.org/10.3917/sim.171.0039

Kim, S., Lee, K.-H., Hwang, H., & Yoo, S. (2016). Analysis of the factors influencing healthcare professionals' adoption of mobile electronic medical record (EMR) using the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT) in a tertiary hospital. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, *16*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s12911-016-0249-8

Sebai, J. (2020). La e-santé et le patient 2.0 : La colonisation démocratique ! *Marché et organisations*, *38*(2), 123-144. https://doi.org/10.3917/maorg.038.0123

Seguin, L., & Tassy, L. (2022). E-santé, digitalisation ou transformation numérique : Impact sur les soins de support en oncologie. *Bulletin du Cancer*, *109*(5), 598-611. https://doi.org/10.1016/j.bulcan.2021.08.015

Venkatesh, V., Brown, S. A., Maruping, L. M., & Bala, H. (2008). Predicting different conceptualizations of system use : The competing roles of behavioral intention, facilitating conditions, and behavioral expectation. *MIS quarterly*, 483-502.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology : Toward a unified view. *MIS quarterly*, 425-478.

Wills, M., El-Gayar, O., & Bennett, D. (2008). Examining healthcare professionals' acceptance of electronic medical records using UTAUT. *Information Systems*, *9*(2), 396-401.

2 Communications Longues (= CL) et

1 Communications Courte (= CC)

CL : *Gestion de la crise Covid-19 : Analyse des liens entre les processus de résilience et de créativité mis en œuvre par les professionnels de santé*

Leïla Chassery

Aix-Marseille Université, Centre de recherche en Psychologie de la Connaissance, du Langage et de l'Emotion (PSYCLE), Aix-en-Provence, France

leila.chassery@univ-amu.fr

Hugo Marthinet

Centre d'Epidémiologie et de Santé Publique des Armées, SSA

hugo.marthinet@def.gouv.fr

& Liliane Pellegrin

Centre d'Epidémiologie et de Santé Publique des Armées, SSA

Aix-Marseille Université, IRD, AP-HM, SSA, VITROME, IHU-Méditerranée Infection, Marseille, France

liliane.pellegrin_chaudet@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

Au début du mois de février 2020, la France s'est retrouvée confrontée à la crise due à la pandémie Covid-19. L'ensemble des réseaux de gestion épidémiologique se sont retrouvés mobilisés, afin de dépister et soigner les personnes atteintes par le virus, de limiter la transmission, et d'endiguer l'épidémie. Dans ce cadre, une étude de terrain exploratoire a été conduite pour analyser les processus de résilience, et de créativité mis en œuvre par les professionnels de santé lors de la gestion de cette crise sanitaire. Cette étude visait à analyser les liens entre les facteurs stratégiques et socio-organisationnels, bénéfiques à la résilience des organismes étudiés, et la mise en œuvre de processus créatifs. Les données ont été recueillies par le biais d'un questionnaire, dispensé à un échantillon de professionnels de santé, militaires et civils, impliqués dans la gestion épidémiologique de la crise Covid-19. Les résultats obtenus mettent en évidence d'importants liens entre la créativité, la résilience et les performances de gestion des organisations, aussi bien au niveau individuel, collectif et organisationnel.

MOTS-CLÉS

Gestion épidémiologique ; Situations complexes et dynamiques ; Crise Covid-19 ; Créativité ; Résilience organisationnelle

1. INTRODUCTION

La gestion épidémiologique renvoie à un système sociotechnique reposant sur un collectif d'experts médicaux, issus de domaines variés et complémentaires, soumis à un ensemble de processus et de réglementations, élaborés pour la gestion de phénomènes à risque épidémique. Cette activité s'effectue dans un contexte dynamique, caractérisé par la présence de risques et de nombreuses contraintes spatio-temporelles, organisationnelles et techniques. Aussi, la gestion épidémiologique peut être considérée comme une activité de résolution de problèmes médicaux en situations complexes et dynamiques (Hoc, 1996).

Selon la complexité des situations, les professionnels dans le domaine peuvent se reposer sur un référentiel de procédures leur permettant d'assurer une gestion rapide et efficace des évènements épidémiques. Cependant, il peut arriver que ces procédures, conçues pour traiter des phénomènes

connus, ne soient pas suffisamment adaptées à la résolution de certaines situations aigües ou inattendues. En effet, les situations de suspicion d'épidémie peuvent présenter différents degrés de complexité et de criticité, voire, dans certains cas, évoluer en véritable crises (au sens de Faulkner, 2001 et Rogalski, 2004). Face à ce type de situations, les opérateurs peuvent se retrouver dépassés par l'ampleur des dommages, la soudaineté de l'événement, ou l'apparition de nouvelles menaces et vulnérabilités, qu'ils n'avaient pas anticipés (Dautun, 2007). Afin d'assurer une gestion réactive et adéquate dans ce contexte, ces derniers doivent pallier les limites de leurs procédures habituelles, en adaptant leurs stratégies et leurs actions selon l'évolution des évènements.

Au début du mois de février 2020, la France s'est notamment retrouvée confrontée à la pandémie liée au virus du Covid-19. Très rapidement la situation du pays s'est dégradée pour finalement aboutir en une importante crise sanitaire. Cette situation a amené l'ensemble du système hospitalier et des réseaux de supervision épidémiologique à se mobiliser pour concevoir de nouvelles stratégies de gestion, afin de dépister et soigner les personnes atteintes par le virus, de limiter la transmission, d'endiguer l'épidémie et d'assurer leur activité courante. Le cadre général de ces recherches porte sur les éléments de créativité, individuels, collectifs et organisationnels, mis en œuvre pour une gestion résiliente de cette crise par les organismes de surveillance épidémiologique.

2. CADRE THÉORIQUE

Selon Rogalski (2004), une situation de crise se définit par l'arrivée d'un événement, généralement inattendu, dont les conséquences vont se développer au cours du temps, avec une dynamique souvent rapide, qui engendre des risques importants et un dépassement des ressources préexistantes en termes de procédures d'actions et d'acteurs. Ces situations sont génératrices d'une multitude de pressions qui fragilisent l'ensemble du système de gestion et entravent l'activité des opérateurs. Ainsi, la crise constitue une phase d'instabilité et de rupture, source de nombreuses pressions, qui met en lumière les vulnérabilités organisationnelles, et les limites des procédures préexistantes des systèmes impliqués. Pour contrer cette mise en défaut, il est nécessaire que les organisations développent leur capacité de résilience afin de se réinventer et de s'adapter à cette nouvelle réalité.

Koninckx et Teneau (2010) déterminent la résilience organisationnelle comme la propriété d'une organisation qui, adaptant sa structure aux changements, conserve la même trajectoire après une perturbation. Cette capacité permet à un système de maintenir ses activités, même en situation inattendue, en ajustant son fonctionnement au déroulement des évènements. Il est important de souligner qu'« une organisation ou un système n'est pas résilient en soi; ce sont les individus qui disposent de cette capacité » (Koninckx et Teneau, 2010). En effet, le système de surveillance épidémiologique est dépendant des différents acteurs qui le composent et qui assurent les fonctions de planification, de direction et de contrôle des opérations. Néanmoins, ce système est basé sur une structure socio-technique rigide et linéaire, qui se fracture facilement lorsqu'elle se retrouve en situation de crise (Chassery et al., 2021). Il est donc primordial de préserver un contexte favorable à l'émergence de résilience organisationnelle, en impliquant l'ensemble des acteurs afin de stimuler la motivation, l'engagement et la coopération nécessaires pour préserver leur efficacité et éviter une perte de sens de l'activité.

Les recherches théoriques menées sur les processus de résilience organisationnelle soulignent également l'intérêt de la créativité comme outil permettant de mieux rebondir face à l'adversité (Cyrulnik, 1999). En effet, « les experts s'accordent à dire que les situations imprévues, où la sécurité des individus et des installations est menacée, exigent une gestion où se côtoient créativité et fiabilité » (Bourgeois-Bougrine, 2018). La mise en place de processus créatifs permet de pallier les limites des dispositifs préexistants, en imaginant de nouvelles solutions plus adaptées à la gestion de la situation. Cette capacité est donc essentielle à l'élaboration de systèmes résilients, afin de trouver des méthodes

de travail et des modes de fonctionnement différents, utiles à l'adaptation organisationnelle des structures. Dans le cadre de la gestion épidémiologique, les processus de créativité portent sur l'élaboration d'idées qui sortent du référentiel des procédures habituellement utilisées, et permettent d'apporter des solutions inédites à la situation traitée.

3. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES

La survenue de la crise liée à l'épidémie de Covid-19 a donné la possibilité de pouvoir étudier les stratégies déployées par des personnels de santé dans la gestion d'une réelle situation de crise sanitaire. Dans ce cadre, une étude de terrain exploratoire a été conduite afin de caractériser et de comprendre l'implication les processus de créativité, développés par les professionnels et les organismes du domaine, pour une gestion résiliente de la situation. Les recherches théoriques précédemment menées ont permis d'émettre certaines prévisions quant aux résultats attendus. Aussi, les facteurs stratégiques et socio-organisationnels bénéfiques à la résilience des organismes étudiés, devraient être associés à la mise en œuvre de processus créatifs, sur le plan individuel, collectif et organisationnels. A l'inverse, ces mêmes facteurs, cette fois-ci défavorables à la résilience organisationnelle, devraient être liés à un moindre recours aux processus de créativité. Les hypothèses émises, sur ces prévisions sont les suivantes :

Hypothèse 1 : Les réponses concernant la créativité individuelle devraient être associées aux réponses concernant les processus individuels indiquant une bonne résilience organisationnelle, et opposées aux réponses concernant les processus individuels évoquant un déficit de résilience organisationnelle.

Hypothèse 2 : Les réponses concernant la créativité collective devraient être associées aux réponses indiquant des facteurs socio-organisationnels bénéfiques à la résilience organisationnelle, et opposées aux réponses évoquant des facteurs socio-organisationnels défavorables à la résilience organisationnelle.

Hypothèse 3 : Les réponses concernant la créativité organisationnelle devraient être associées aux réponses indiquant des stratégies organisationnelles bénéfiques à la résilience organisationnelle, et opposées aux réponses évoquant des stratégies organisationnelles défavorables à la résilience organisationnelle.

4. MÉTHODE

4.1. Méthode de recueil des données

Cette étude a été réalisée par le biais d'un questionnaire, conçu à l'issue d'observations de terrains réalisées au sein de Centre d'Epidémiologie et de Santé Publiques des Armées, durant la première phase de la crise COVID-19. Ces observations préliminaires ont permis de relever certaines difficultés et stratégies mises en œuvre pour faire face à la situation. Afin d'identifier les questions relatives à créativité et la résilience organisationnelle des recherches préliminaires ont été conduites. Des entretiens ont, dans un premier temps été réalisés, dans but de définir les questions concernant les motivations, les conditions et les objectifs de mise en œuvre d'activités créatives, dans le cadre de la gestion de situations épidémiologiques. Ces entretiens ont été conduits auprès d'opérateurs spécialisés dans la gestion des maladies nosocomiales hospitalières, issus de différentes équipes opérationnelles du Comité de Lutte contre les Infections Nosocomiales des Hôpitaux Universitaires de Marseille (CLIN AP-HM). Ces participants ont été choisis, a priori, en raison de leur activité de gestion globale des situations épidémiologiques (surveillance, détection, application des mesures sur le terrain). Les résultats obtenus ont permis d'orienter les questions concernant la créativité, en les ciblant sur la créativité individuelle mis en œuvre pour l'adaptation ou la création de solutions, ainsi que sur l'impact des facteurs socio-organisationnels relevant du collectif de travail et de l'organisme. La seconde étape des recherches a été conduite sur la base d'un questionnaire préexistant. Ce

questionnaire, élaboré par Koninckx & Teneau (2010) et nommé questionnaire SRS (Strategic Resiliency Scoring), vise à mesurer le niveau de résilience des individus au sein des organisations. Les questions pertinentes pour les objectifs de recherches ont été sélectionnées afin de servir d'appui pour l'élaboration des items à intégrer au questionnaire. L'ensembles des recherches préliminaires ont ainsi permis de concevoir un questionnaire composé d'une trentaine de questions de type échelle de Likert en cinq points, portant sur la créativité et la résilience organisationnelle, et orientées selon les dimensions et sous-dimensions suivantes :

- Résilience organisationnelle (21 questions) : Processus individuels (Exemple : « Vous êtes-vous retrouvé face à une charge de travail trop importante ?») ; Facteurs socio-organisationnels (Exemple : « Vous est-il arrivé de recevoir des instructions contradictoires ? ») ; Stratégies organisationnelles (Exemple : « Votre organisme a-t-il procédé à des changements d'organisation ou d'encadrement des équipes pour s'adapter à la gestion de cette situation ? »).

- Créativité (12 questions) : Créativité individuelle (Exemple : « Les contretemps que vous avez rencontrés ont-ils été l'occasion de faire émerger de nouvelles idées ? ») ; Créativité dans le collectif de travail (Exemple : « Estimez-vous que les idées que vous avez proposées ont suffisamment été prises en compte par vos collègues ? ») ; Créativité dans l'organisme (Exemple : « Depuis le début de la crise, de nouveaux outils informatiques sont-ils apparus ou vont-ils apparaître au sein de votre organisme ? »).

Les recommandations sanitaires restreignant considérablement les déplacements des personnes au moment de la diffusion du questionnaire, le recours à un questionnaire en ligne a été privilégié, dans le but de cibler un panel plus important de participants. Ce dernier a été dispensé à un échantillon de professionnels relevant de différents organismes de supervision épidémiologique, publics et militaires, impliqués dans la gestion de la première phase de la crise (de février à juin 2020). Les organismes ciblés étaient les suivants :

- le Bataillon de marins-pompiers de Marseille (BMPM) ;
- la Brigade de sapeurs-pompiers de Paris (BSPP) ;
- l'Institut hospitalo-universitaire Méditerranée Infection (IHU Méditerranée Infections) ;
- le Comité de Lutte contre les Infections Nosocomiales (CLIN AP-HM) ;
- le Centre d'Epidémiologie et de Santé Publique des Armées (CESPA).

4.2. Méthode d'analyse

En vue de tester les différentes hypothèses formulées, la base de données des réponses aux questions relevant de la résilience organisationnelle et de la créativité à fait l'objet d'analyses statistiques, associées aux mesures ordinales issues d'échelles de type Likert. L'intérêt de ces analyses était d'identifier des comportements similaires ou opposés entre certains groupes de questions. A ce titre, trois analyses en composante principale (ACP) ont été effectuées, en sélectionnant a priori les questions relatives aux hypothèses. Il s'agit d'une méthode statistique de réduction de dimensions visant à analyser et visualiser un jeu de données composé de nombreuses variables. Chaque question étant considérée comme une variable, correspondant graphiquement à une dimension distincte, il s'avère très difficile de visualiser les données dans un espace multidimensionnel de plus de trois dimensions. L'ACP permet ainsi d'extraire et de représenter graphiquement les informations importantes contenues dans un jeu de données multivariées, en synthétisant cette information en un nombre réduit de nouvelles variables, appelées composantes principales, construites par combinaisons linéaires des anciennes. Afin de valider l'hypothèse d'homoscédasticité des variables (égalité des variances) nécessaire à l'application d'une ACP, les tests de Bartlett et de MSA (mesure de l'adéquation de l'échantillonnage de Kaiser) ont été réalisés. Le test de Bartlett doit être significatif pour pouvoir appliquer une ACP. Le test de MSA est un indicateur (indice KMO) qui permet de

quantifier le degré de corrélation entre les variables et la pertinence de l'ACP. Ce dernier doit être supérieur ou égal à 0,50 pour accepter la réalisation d'une ACP.

5. RÉSULTATS

Au total, 41 participants ont complété le questionnaire, dont 12,3% de participants pompiers (BSPP et BMPM), 10% de professionnels issus du domaine civil (IHU et CLIN), et 23,6% de personnels travaillant au CESPA.

5.1. Créativité individuelle et impact des processus de résilience organisationnelle sur les activités individuelles

Afin de permettre l'identification d'éventuels liens entre l'impact des processus de résilience organisationnelle sur les activités individuelles et la mise en œuvre de créativité individuelle (hypothèse 1), la première ACP a été réalisée sur les 10 questions (variables) s'y rapportant. Les tests de Bartlett (5,53 ; $p < 0.001$) et MSA (KMO = 0,510) ont validé l'application d'une ACP sur ces données. Les deux premières composantes principales, construites par l'analyse, expliquent 41,8% de la variance totale des données. La première composante est caractérisée principalement par les réponses obtenues aux questions concernant le sentiment d'ennui et de perte de sens (contribution de 12,5%), ainsi que par celles relevant de l'émergence d'idées (contribution de 16,8%) et de la création de nouvelles solutions (contribution de 25,7%). La seconde dimension est définie selon les variables portant sur l'adaptation des activités à la gestion de la situation (contribution de 17,0%), le sentiment de perte de sens (contribution de 13,2%) et de responsabilités trop importantes (contribution de 23,6%), ainsi que sur la création de compromis (contribution de 19,5%).

Le graphique de représentation des variables (cf. figure 1) indique, sur la première dimension, un lien entre les questions relevant de la créativité individuelle et celles concernant les effets positifs de la résilience organisationnelle sur les individus. L'ajout des 16 variables descriptives à la représentation graphique (qualité de représentation : cos2 > 0.10), montre également un regroupement entre cet ensemble de questions et la performance des organismes à la gestion de la situation. Ce premier regroupement de questions s'oppose à celles indiquant des effets négatifs de la résilience organisationnelle sur l'activité des individus. La répartition des variables suivant le second axe permet d'observer une distinction entre la question se rapportant à l'émergence d'idées et la totalité des autres des questions.

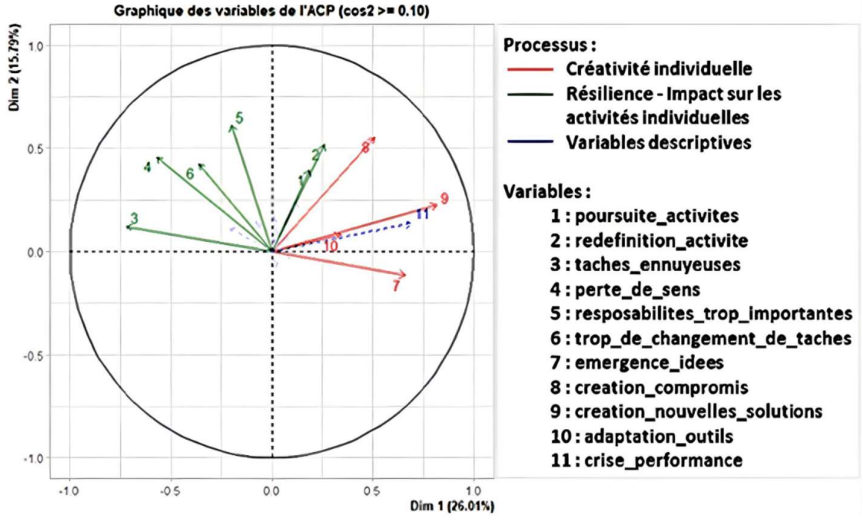


Figure 1 : Représentation graphique des réponses obtenues aux questions concernant l'émergence individuelle d'idées et l'impact des processus de résilience organisationnelle sur les activités.

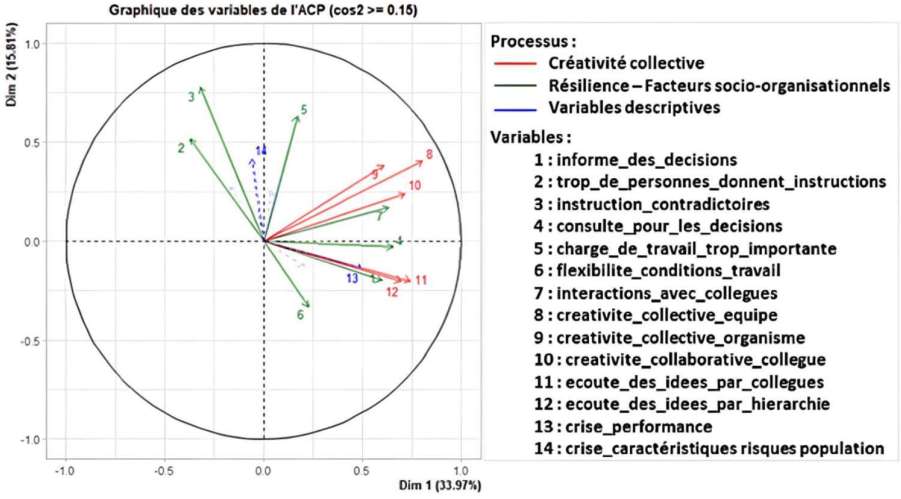
Néanmoins, l'analyse des distances réelles rend compte d'une distance moindre entre l'émergence d'idées et le reste des questions, relatives à la créativité et à la performance des organismes (distances comprises entre 0,77 et 1,29). Seules les questions concernant les effets négatifs de la résilience organisationnelle sur les individus présentent une distance suffisante avec l'émergence d'idées (distances supérieures à 1,51) pour traduire une opposition.

Ainsi, les résultats de cette analyse mettent en évidence un lien entre les réponses relevant de la créativité individuelle et celles indiquant une résilience organisationnelle bénéfique pour les activités des personnes. Celles-ci s'opposent aux réponses évoquant un déficit de résilience organisationnelle défavorable aux activités individuelles. Les résultats obtenus permettent donc de confirmer la première hypothèse formulée.

5.2. Créativité collective et facteurs socio-organisationnels impliqués dans la résilience des organismes

La seconde ACP a été réalisée dans l'objectif d'identifier d'éventuels liens entre les facteurs de créativité collective et les facteurs socio-organisationnels impliqués dans la résilience des organismes (hypothèse 2). Cette analyse a été conduite sur les 12 questions (variables) s'y rapportant. Les tests de Bartlett (5,01 ; $p < 0.001$) et MSA (KMO = 0,640) ont validé l'application d'une ACP sur ces données. Les deux premières composantes principales, sélectionnées pour la conception du plan de représentation des variables, expliquent 49,8% de la variance totale des données. La première composante s'articule principalement autour des variables relevant des aspects de créativité collective (contribution de 41,3%). La seconde dimension se définit essentiellement selon des réponses évoquant les facteurs socio-organisationnels défavorables à la résilience organisationnelle (contribution de 66,9%).

La représentation des variables (cf. figure 2) montre un regroupement entre les questions relatives aux facteurs socio-organisationnels bénéfiques à la résilience et celles se rapportant à la créativité du collectif de travail. L'affichage des variables descriptives (qualité de représentation : cos2 > 0.15), permet d'observer un lien entre ce regroupement de questions et la performance des organismes à la gestion de la crise. Le second axe indique une opposition entre la question portant sur les pressions temporelles et de productivité et celle concernant la flexibilité des conditions de travail.



<u>Figure 2 :</u> Représentation graphique des réponses obtenues aux questions concernant la créativité collective et les facteurs socio-organisationnels impliqués dans la résilience des organismes.

La répartition des variables suivant cet axe montre un regroupement de l'ensemble des questions évoquant des facteurs socio-organisationnels défavorables à la résilience des organismes. L'ajout des

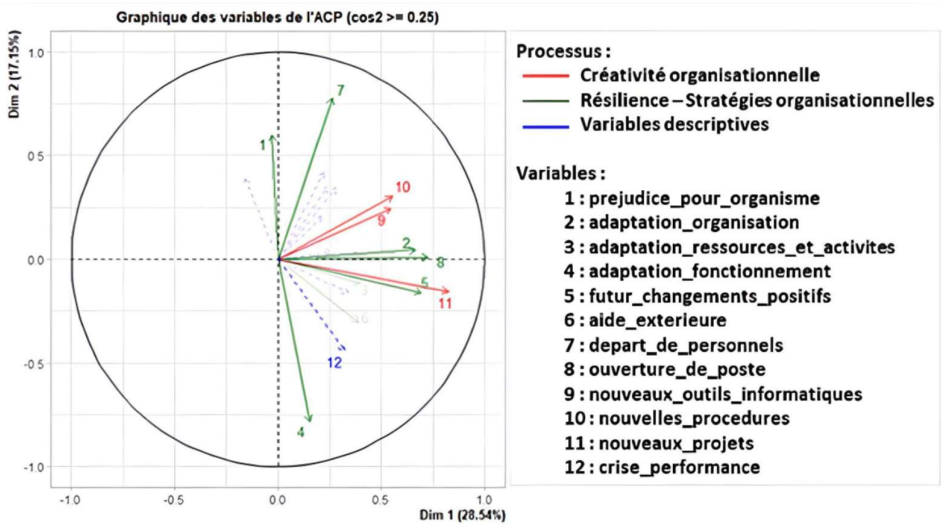
variables descriptives à la représentation graphique fait apparaître un lien entre cet ensemble de questions et l'estimation des risques encourus par la population. Enfin, l'analyse des distances réelles des variables indique la présence d'un lien entre la flexibilité des conditions de travail et certaines questions relative à de la créativité collective et aux facteurs socio-organisationnels bénéfiques à la résilience (distances comprises entre 0,99 et 1,11).

Les résultats obtenus suite à cette analyse indiquent que la créativité au sein des collectifs de travail présente un lien avec les éléments indiquant des facteurs socio-organisationnels bénéfiques à la résilience des organismes, et une opposition aux éléments évoquant des facteurs socio-organisationnels défavorables à la résilience. Ces résultats permettent ainsi de confirmer la seconde hypothèse formulée.

5.3. Créativité organisationnelle et stratégies organisationnelles impliquées dans la résilience des organismes

Afin d'identifier de possibles liens entre la créativité organisationnelle et les stratégies de résilience organisationnelle, la dernière ACP a été conduite sur les 12 questions (variables) s'y rapportant. Les tests de Bartlett (3,18 ; $p < 0.001$) et MSA (KMO = 0,580) ont validé l'application d'une ACP sur ces données. Les deux premières composantes principales, sélectionnées pour la conception du plan de représentation des variables, expliquent 45,7% de la variance totale des données. La première dimension est principalement caractérisée par les réponses obtenues aux questions concernant la conception de nouveaux projets (contribution de 21,8%), l'ouverture de postes (contribution de 16,7%), l'arrivée de changements positifs (contribution de 15,3%) et l'adaptation de la structure organisationnelle (contribution de 14,1%). La seconde dimension est définie selon les variables se rapportant aux capacités d'adaptation des organismes à la situation (contribution de 32,6%), aux départs de personnels dus à la situation (contribution de 32%), ainsi qu'à la survenue d'évènements préjudiciables pour les organismes (contribution de 19%).

Le graphique de représentation des variables (cf. figure 3) montre sur la première dimension, un lien entre les questions relevant des stratégies bénéfiques à la résilience organisationnelle et celles concernant la créativité des organismes. Le second axe indique, quant à lui, une opposition entre les questions évoquant des stratégies organisationnelles défavorables à la résilience des organismes et celle relevant de leur capacité d'adaptation à la situation.



<u>Figure 3 :</u> Représentation graphique des réponses obtenues aux questions concernant la créativité organisationnelle et les stratégies organisationnelles impliquées dans la résilience des organismes.

L'affichage des variables descriptives (qualité de représentation : cos2 > 0.25), témoigne également d'un regroupement entre l'adaptation du fonctionnement des organismes et leur performance à la gestion de la situation. L'analyse des distances réelles des variables, permet d'apporter certaines précisions concernant la question relative à la capacité d'adaptation du fonctionnement des organismes à la situation. Notamment, elle pointe une forte opposition entre cette capacité et les questions portant sur les départs de personnels et la survenue d'événements préjudiciables (distances comprises entre 1,61 et 1,65). En outre, les distances réelles témoignent d'un lien entre l'adaptation du fonctionnement des organismes et certaines questions relevant de la créativité organisationnelle et de la mise en œuvre de stratégies bénéfiques à la résilience (distances comprises entre 1,03 et 1,09).

Les résultats obtenus permettent ainsi de confirmer la troisième hypothèse formulée quant aux liens entre les réponses concernant la créativité organisationnelle et celles indiquant des stratégies organisationnelles bénéfiques à la résilience des organismes. Toutefois, un lien notable entre l'apparition de nouvelles procédures et les départs de personnels peut être remarqué (distance égale à 0,82). Enfin, la matrice de distances réelles révèle un regroupement entre la performance des organismes à gestion de la crise et l'ensemble des réponses se rapportant à la créativité organisationnelle et à la mise en place de stratégies bénéfiques à la résilience des organismes (distances comprises entre 0,52 et 1,09).

6. DISCUSSION

Les analyses menées, ont permis de confirmer les trois hypothèses formulées. Les réponses des participants concernant la créativité individuelle sont associées à celles indiquant une résilience organisationnelle bénéfique pour les activités des individus. De plus, les éléments relevant de la créativité dans le collectif de travail présentent de forts liens avec les facteurs socio-organisationnels bénéfiques à la résilience des organismes. Les aspects relatifs à la créativité organisationnelle sont, quant à eux, associés aux éléments organisationnels bénéfiques à la résilience des structures. Enfin, la totalité des réponses relevant de la créativité et de la résilience présente d'importants liens avec la performance des organismes à la gestion de la crise. Les résultats de cette étude ont ainsi mis en évidence d'importants liens entre la créativité et la résilience des organismes, aussi bien au niveau individuel (Ferrer, 2013), collectif (Richtnér & Löfsten, 2014) et organisationnel (Koninckx, & Teneau, 2010). Les réponses des participants concernant les aspects de créativité et de résilience témoignent, d'une part, de l'importance de maintenir de bonnes capacités de résilience organisationnelle pour une gestion efficace des perturbations inhérentes aux situations de crises, et, d'autre part, de la nécessité de la créativité pour l'adaptation des organismes à ce type de situations (Bourgeois-Bougrine, 2018). Néanmoins, les systèmes de gestion épidémiologique reposent sur une structure sociotechnique complexe, caractérisée par de nombreux facteurs socio-organisationnels pouvant limiter les marges de manœuvre des opérateurs et le déroulement de leurs activités. Aussi, il serait sans doute bénéfique d'enrichir les programmes de formation des spécialistes de santé publique ayant en charge l'investigation d'épidémies afin de développer leurs capacités d'adaptation et d'intégrer le recours à l'improvisation dans les programmes de prévention et de gestion de crises Chassery, et al., 2021).

7. REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un financement doctoral PACA (bourse doctorale régionale) et a été possible par l'implication et le soutien de N. Bonnardel, G. Texier, H. Chaudet.

8. BIBLIOGRAPHIE

Bourgeois-Bougrine, S. (2018). *La gestion des risques et de l'imprévu entre contrôle et créativité Quels apports pour l'anticipation et l'improvisation ?.* Habilitation à diriger les recherches de l'Université de Paris Descartes. Paris, France.

Chassery, L., Texier, G., De Santi, V. P., Chaudet, H., Bonnardel, N., & Pellegrin, L. (2021). A COVID-19 outbreak on board ship: Analysis of the sociotechnical system of epidemiological management in the French Navy. *Safety Science*, *140*, 105296.

Cyrulnik, B. (1999). *Un merveilleux malheur*. Odile Jacob.

Dautun, C. (2007). *Contribution à l'étude des crises de grande ampleur: connaissance et aide à la décision pour la sécurité civile.* Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne).

Faulkner, B. (2001). Towards a framework for tourism disaster management. *Tourism Management* 22 (2), 135-47.

Ferrer, M.-H. (2013). *Créativité adaptative et résilience : recherche de leviers favorisant l'adaptation et la réadaptation dans le domaine de la santé*. Thèse de doctorat en psychologie. AMU.

Hoc, J.M. (1996). *Supervision et contrôle de processus – La cognition en situation de dynamique*. Grenoble : Pug.

Koninckx, G., & Teneau, G. (2010). *Résilience organisationnelle: rebondir face aux turbulences*. De Boeck Supérieur.

Rogalski, J. (2004). La gestion des crises. In P. Falzon (Ed), *Ergonomie*. (pp. 531-544), Paris : PUF.

Richtnér, A., & Löfsten, H. (2014). Managing in turbulence: how the capacity for resilience influences creativity. *R&d Management*, 44(2), 137-151.

CL : *Proposition d'un modèle de la navigation en transports en commun dédié à l'analyse des erreurs humaines : une revue de la littérature*

Sarah Belouahchi & Emilie Loup-Escande
UR 7273 CRP-CPO, Université de Picardie Jules Verne, sarah.belouahchi@u-picardie.fr
UR 7273 CRP-CPO, Université de Picardie Jules Verne, emilie.loup-escande@u-picardie.fr

RÉSUMÉ

Bien que relevant du domaine relativement référencé de la mobilité, la question des erreurs humaines (EH) réalisées par les usagers de transports en commun (TC) reste peu traitée. Notre travail part du postulat que cette question, une fois investie, pourrait former un axe clé de la compréhension des comportements de navigation et l'identification des freins à l'utilisation des TC. Pour cette raison, l'objectif de cette communication est de proposer un modèle théorique de la navigation des usagers de TC spécifiquement destiné à l'analyse des EH. Nous détaillons ce modèle à partir de ses composantes et de leurs relations pendant la navigation et justifions son caractère adapté et approprié pour l'étude des EH en situation réelle.

MOTS-CLÉS

Erreurs humaines, transports en commun, modélisation, analyse systémique, activité de navigation.

1. INTRODUCTION

Les études liées au champ de la mobilité partagée se démultiplient face aux enjeux écologiques et environnementaux (Rocci, 2019). Une majeure partie d'entre elles se centre sur une compréhension de l'activité effective des usagers de transports en commun (TC) à partir des différents facteurs en situation. Par exemple, plusieurs recherches s'intéressent à l'influence des perturbations (e.g., Mo et al., 2022 ; Rahimi et al., 2019) ou des dimensions affectives (e.g., De Vos et al., 2022 ; Grison et al., 2017) sur les pratiques des usagers. Leur principal objectif est de dégager un certain nombre de besoins (e.g., informations recherchées) destinés à répondre aux attentes de déplacement en TC (e.g., confort). Ces besoins soutiennent la formulation de réflexions prédestinées à favoriser l'attractivité des TC. Ils permettent, en outre, de proposer des recommandations liées aux défaillances de certaines ressources requises pour naviguer (e.g., outils de navigation, de calcul d'itinéraire, etc.).

Dans cette logique, nous suggérons que l'étude des erreurs humaines (EH) réalisées au cours de la navigation apparait comme un axe de recherche supplémentaire pour fournir des pistes d'amélioration de l'expérience des usagers de TC. En effet, l'approche ergonomique dans laquelle cette communication se positionne, définit l'EH comme une inadéquation entre les composantes techniques, organisationnelles et fonctionnelles de la situation d'activité et les caractéristiques physiques, mentales et psychologiques de l'opérateur (Mabrouk, 2010). Cette approche systémique des EH permet de soutenir des actions visant à limiter les composantes défaillantes d'une organisation (e.g., redéfinition des procédures, ajout d'outils, etc.).

Dans notre cadre, l'analyse des EH présuppose donc une détection des caractéristiques dysfonctionnelles du système et réseau de TC, voire des difficultés d'utilisation des TC. Cependant et malgré l'apport certain d'une étude en situation, la littérature actuelle n'investit que peu la question

des EH réalisées par les usagers. Ce constat contraste même avec la crainte de commettre des erreurs clairement exprimée dans l'adoption des TC (Rocci, 2015). Par conséquent, l'objectif de cette communication est de proposer - sur la base de la littérature – une modélisation du processus de navigation des usagers de TC ambitionnant la constitution d'un cadre pour la détection, la catégorisation et la compréhension des EH en situation. En d'autres termes, la conception du modèle a pour but de lier l'apparition d'EH aux composantes de la navigation (e.g., tâches). Nous commençons par détailler les constats et appuis théoriques mobilisés pour définir les types de composantes à modéliser. Nous exposons ensuite les étapes de recherche bibliographique dédiées au recueil de ces composantes (i.e., étapes ; sous-étapes ; processus cognitifs ; variables). Enfin, nous présentons notre modèle final, son contenu et son apport potentiel en tant que cadre structurant pour l'étude des EH.

2. DEMARCHE DE CONCEPTION DU MODELE DE LA NAVIGATION EN TC

2.1. Définition des critères de sélection des composantes du modèle de la navigation en TC

La caractérisation d'un modèle revient à définir les frontières des situations qu'il tente de représenter (De Montmollin, 1997). A cette fin, deux critères de sélection des composantes de notre modèle ont été établis. Nous avons intégré (1) les lacunes théoriques liées à l'imprécision de certaines composantes dans les modèles actuels de la navigation. Ce premier critère avait pour but d'établir un cadre de modélisation plus holistique, plus situé et plus représentatif de la navigation en TC. Nous avons ensuite considéré (2) les composantes nécessaires à un examen générique des EH dans ce cadre à partir de trois niveaux d'analyse (i.e., comportemental ; conceptuel ; contextuel) (Reason, 1990b).

2.1.1. Composantes lacunaires dans les modèles actuels de la navigation en TC

La navigation spatiale se définit comme un processus permettant à un individu d'atteindre une destination-cible (Lakehal et al., 2018 ; Montello, 2005). Bien qu'initialement associée au déplacement piétonnier, cette notion englobe désormais de nombreux types de déplacement, y compris ceux réalisés en TC (e.g., Rüetschi & Timpf, 2005). Elle se rapporte à l'activité déployée par un usager pour assurer ses objectifs par une sélection et une utilisation adaptées de moyens et/ou itinéraires de transport. Pour ce faire, un processus de « wayfinding » se met en place *via* (1) la détermination d'un itinéraire et (2) son exécution (e.g., Farr et al., 2012 ; Passini et al., 2000). Il se traduit, dans les TC, par la construction d'un itinéraire à partir de l'offre du réseau de transport (e.g., mode(s) de TC, correspondances, etc.) et le suivi de cet itinéraire au sein de l'infrastructure du réseau.

Sur le plan scientifique, l'analyse de la navigation s'illustre par une pluralité d'approches (e.g., cognitive, descriptive, etc.) et de situations (e.g., incertitude, etc.). Seulement, celles-ci ne sont constituées que d'étapes globales (e.g., choix d'un itinéraire) ou de composantes isolées de la navigation (e.g., influence des facteurs individuels). Il n'existe, à notre connaissance, pas de modélisation détaillant l'ensemble des tâches effectives en TC. Afin d'inclure l'expérience rapportée par l'usager dans son acception holistique, nous avons donc considéré les lacunes des modélisations actuelles. La recherche des composantes de notre modèle tente de répondre : (1) au manque d'études traitant de l'activité des usagers depuis l'initiation jusqu'à la clôture de la navigation (e.g., Gomez et al., 2015 ; Vandenberg, 2016) ; (2) aux dimensions lacunaires de certains processus cognitifs issus de travaux conceptuels qui n'incluent pas les caractéristiques de la situation et (3) qui ne s'associent que peu au versant de la navigation lié à l'exécution d'un itinéraire ; (4) à l'absence de modélisation de l'activité de l'usager au regard de l'ensemble des déterminants en jeu et (5) des modélisations peu adaptées aux caractéristiques des TC, à part quelques conceptions globales (e.g., Rüetschi & Timpf, 2005). Ces points ont orienté les composantes de la navigation à explorer au regard de leur représentation incomplète dans la littérature. Leur but était d'offrir un cadre plus exhaustif de la navigation en TC et d'ouvrir une détection et une qualification plus fidèles des EH en situation.

2.1.2. Composantes nécessaires au déploiement des trois niveaux d'analyse des EH

Nous nous sommes ensuite intéressés aux composantes nécessaires à l'application d'une analyse générique des EH en situation. Pour ce faire, nous avons choisi une méthodologie basée sur trois niveaux d'analyse des EH (Mabrouk, 2010), elle-même inspirée des travaux de Reason (1990b). Le choix de cette méthodologie a été justifié par son caractère (1) exhaustif, (2) applicable au cadre de la navigation, (3) ses précisions sur la nature des composantes recherchées et (4) sa capacité à intégrer un ensemble de tâches dans l'analyse des EH. Les trois niveaux qui en découlent se composent : (1) du niveau comportemental, qui s'intéresse aux erreurs en fonction des caractéristiques facilement observables du comportement erroné. L'approche descriptive en sortie spécifie l'erreur par rapport au comportement réalisé pour répondre à la tâche et à la déviation de ce comportement par rapport à ce qui était attendu ; (2) du niveau conceptuel, qui place la nature des EH au niveau des mécanismes cognitifs impliqués dans la situation. Il se concentre sur l'étude du raisonnement déployé par l'individu et la détection de ou des étape(s) mentale(s) défaillante(s) au sein de ce raisonnement. Dans ce cas, les EH sont catégorisées à partir de leurs attributs cognitifs (e.g., erreur de compréhension) ; (3) du niveau contextuel, qui consiste en une étude systémique qui se concentre sur les circonstances de l'erreur. Il vise à comprendre la relation entre l'erreur, les caractéristiques de la situation et celles de la tâche. Ce niveau repose finalement sur la détection des facteurs contextuels de défaillances.

Finalement, les deux critères présentés (i.e., lacunes théoriques ; niveaux d'analyse des EH) ont permis d'identifier 4 composantes à modéliser : (1) les étapes constitutives de la navigation ; (2) les tâches effectives de l'usager des TC ; (3) les mécanismes cognitifs sous-jacents et (4) les caractéristiques de chaque situation. Ces éléments ont guidé notre travail de recueil bibliographique.

2.2. Méthode de recueil des données bibliographiques

Pour répondre aux lacunes observées et aux composantes nécessaires à l'analyse des EH, notre recueil théorique s'est divisé en trois phases distinctes. Pour chacune d'entre elles, la procédure de constitution du corpus bibliographique s'est établie par : (1) l'utilisation de trois bases de données, à savoir ScienceDirect, PsycInfo et Springer ; (2) l'association de mots-clés globaux (e.g., « spatial navigation » ; « wayfinding » ; « user's journey ») aux mots-clés liés aux composantes de chaque phase choisie ; (3) l'application d'un tri destiné à exclure les modèles et données issus d'articles qui n'étaient pas spécifiques ou généralisables au cadre des TC. Au final, sur 181 articles initialement traités, 71 articles ont été retenus et utilisés pour constituer notre modèle.

2.2.1. Phase 1 : recensement des étapes constitutives de la navigation spatiale en TC

Nous avons commencé par recenser les modèles génériques de la navigation. L'objectif de ce premier point était d'effectuer un découpage de cette navigation sous un premier niveau, à savoir en distinguer des « étapes » complètes et hiérarchisées. Nous avons tout d'abord établi les contours du processus en délimitant les phases de déclenchement et de clôture de la navigation en situation. Plusieurs mots-clés (e.g., « initiating » ; « closure » ; « complete », etc.) ont été associés. Nous avons continué par une analyse plus fine des deux fonctions de la navigation précédemment présentées (i.e., détermination d'un itinéraire ; exécution d'un itinéraire) afin de les subdiviser en étapes. Les mots-clés « taxonomy » ; « tasks » ; « model » ; « stages » et « components » ont été ajoutés à nos recherches. Nous n'avons conservé que les articles qui intégraient les deux fonctions de la navigation. Nous avons également lié notre recherche au cadre des TC avec des mots-clés tels que « public transport » et « transport networks ». L'ensemble de ce travail a abouti sur une formulation de 7 étapes globales et d'1 étape facultative de la navigation (figure 1), qui ont pour fonction d'être applicables au cadre des TC et de schématiser l'entièreté du processus de navigation.

2.2.2. Phase 2 : recensement des tâches effectives et processus mentaux des usagers de TC

Nous avons ensuite dressé un premier tableau des aspects comportementaux de l'usager. L'objectif de cette deuxième phase était double. Sur un premier plan, il s'agissait de proposer une succession de tâches effectives accomplies par l'usager pour franchir les étapes identifiées. Sur un second plan, il convenait d'associer les processus mentaux mobilisés aux tâches réalisées. Notre procédure s'est d'abord attachée à relever tous les types de comportements déployés par l'individu. Une analyse des modélisations conceptuelles s'est ajoutée aux études empiriques qui n'investiguaient que partiellement les comportements en jeu. Nous avons ensuite catégorisé l'ensemble des comportements trouvés en sous-étapes hiérarchisées. Sur le plan cognitif, nous avons relevé l'ensemble des attributs mentaux à partir de travaux : (1) sur l'étude globale des fonctions cognitives retrouvées au sein du processus de navigation ; (2) sur les analyses de processus cognitifs mobilisés pour répondre à une tâche précise ; (3) sur une compréhension des comportements de l'usager à partir du raisonnement cognitif déployé. Les mots-clés utilisés pour ces points ont été particularisés à chaque étape. Nous avons mis en évidence 7 principaux processus cognitifs (figure 2) et 49 sous-étapes des usagers (figure 3), qui ont tous été associés aux étapes précédemment identifiées.

2.2.3. Phase 3 : recensement des variables influençant la nature des comportements de navigation

L'objectif de notre troisième phase était de catégoriser les attributs des différentes situations de navigation en un certain nombre de variables qualifiées par deux types d'association. La première concernait la liaison entre certaines modalités des variables repérées, et l'apparition d'un enchainement de sous-étapes spécifiques. La seconde association s'intéressait à l'influence de certaines variables sur le degré de mobilisation des processus mentaux de navigation. Nous avons donc recherché les déterminants exerçant une influence considérable sur l'activité de l'usager. Nous avons commencé par définir (1) les déterminants internes (e.g., « user characteristics » ; « user profiles », etc.). Nous nous sommes ensuite concentrés sur (2) les déterminants liés au contexte et (3) aux conditions réelles de déplacement (e.g., « mobility context » ; « mobility condition », etc.). Enfin, nous avons effectué une analyse (4) des déterminants liés aux caractéristiques de l'environnement et (5) ceux relatifs à l'offre de déplacement (e.g., « plateforms characteristics » ; « available resources », etc.). Ce travail a abouti sur 12 variables des situations de navigation (figures 2 & 3).

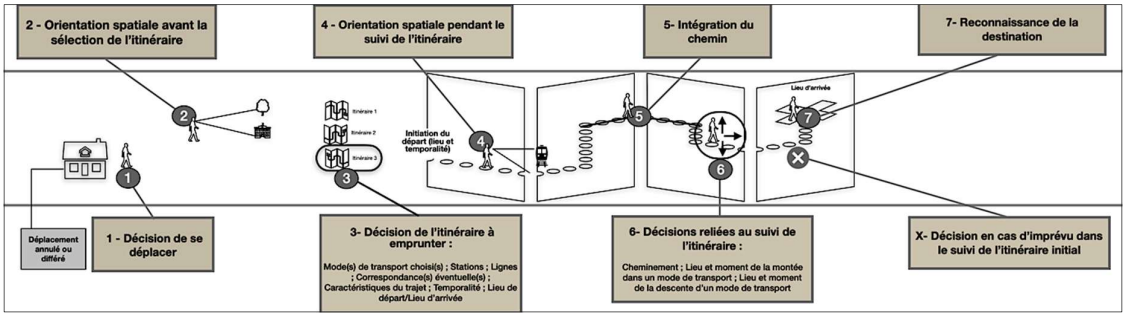
3. PROPOSITION DE MODELE DE LA NAVIGATION DES USAGERS EN TC ET APPLICATION DANS LE CADRE D'UNE ANALYSE DES ERREURS HUMAINES

Notre travail bibliographique nous a finalement menés à une proposition de modèle de la navigation en TC à partir de 4 composantes : (1) les étapes de la navigation ; (2) les sous-étapes (ou tâches effectives) de la navigation ; (3) les processus cognitifs mobilisés et (4) les principales variables influençant les comportements des usagers. Ces composantes ont été catégorisées, hiérarchisées et liées à travers plusieurs relations définies (e.g., les processus cognitifs associés aux sous-étapes, les variables reliées à des types de comportements, etc.). Cette partie aborde une présentation globale de notre modélisation et son apport dans l'analyse des situations d'EH.

3.1. Modélisation des étapes globales du processus de navigation en TC

Le premier niveau de notre modèle se constitue de 7 étapes globales et d'1 étape facultative (figure 1) représentant la totalité de la navigation en TC à partir de propositions génériques de ses fonctions (e.g., Allen, 1999 ; Gomez et al., 2015 ; Lakehal et al., 2018 ; Montello, 2005 ; Rüetschi & Timpf, 2005 ; Vandenberg, 2016). Tout d'abord, la (1) décision de se déplacer - qui initie le processus de navigation spatiale - permet à l'usager de formuler une intention de déplacement au regard d'un motif et d'une destination potentiellement définis. Ensuite, (2) l'orientation spatiale avant la sélection de l'itinéraire entraine l'établissement de relations spatiales intériorisées entre la position de départ de l'usager et la destination souhaitée (e.g., estimation de distance, etc.). La (3) décision de l'itinéraire

à emprunter détermine un plan de déplacement (e.g., mode(s) de transport, correspondance(s), etc.) qui intègre un certain nombre de critères (e.g., durée, prix, etc.). Par la suite, (4) l'orientation spatiale pendant le suivi de l'itinéraire établit des relations spatiales entre la position de l'usager et les différents repères spatiaux associés à l'exécution de l'itinéraire (e.g., mode de transport à venir, intersection, etc.). En association, (5) l'intégration du chemin implique la mise à jour momentanée de la position d'une personne en suivant son propre mouvement (Cornell & Greidanus 2006). Ces deux dernières étapes motivent ensuite les (6) décisions associées au suivi de l'itinéraire, qui correspondent aux actions effectuées par l'usager pour rendre effectif l'itinéraire planifié (e.g., tourner à gauche, etc.). Enfin, la (7) reconnaissance de la destination – qui clôture le trajet – implique la perception de l'arrivée comme telle. Dans certains cas, des (X) décisions supplémentaires surviennent pour permettre à l'usager de maintenir son déplacement en cas d'imprévu(s) (e.g., travaux, etc.). Le degré de mobilisation de ces étapes est dépendant de l'apparition de comportements automatiques liés à la connaissance du trajet réalisé (e.g., nouveau trajet, trajet régulier, etc.). En outre, certains processus mentaux associés à la sous-partie qui suit (e.g., heuristiques, connaissances, etc.) peuvent limiter l'importance des ressources déployées pour certaines étapes, alors instinctives et/ou brèves.



<u>Figure 1 :</u> Modélisation des étapes constitutives de la navigation spatiale en TC.

Une utilisation de l'ensemble de ces étapes permettrait de considérer le processus de navigation spatiale en TC de son initiation à sa conclusion. Elle mènerait, de ce fait, à un plan d'analyse holistique des EH de l'usager, via une intégration de l'expérience totale de navigation rapportée. Effectivement, un découpage complet de cette navigation questionnerait de manière fidèle la nature et l'importance réelles des EH en contexte. Il formerait un cadre suffisamment complet pour recenser de manière adéquate la présence d'une EH et questionner la fiabilité des EH détectées en situation effective.

3.2. Modélisation des processus cognitifs de la navigation spatiale en TC et des variables associées

Nous avons identifié 7 processus cognitifs (figure 2) soutenant les fonctions de la navigation précédemment présentées. En premier lieu, la (1) prise d'information apparait pour établir un itinéraire (e.g., Böcker et al., 2016), assurer une orientation efficace (e.g., Montuwy, 2018), effectuer des actions appropriées (e.g., Passini et al., 2000) et reconnaitre une destination. Elle est modulée par la qualité des sources d'information (e.g., Bian et al., 2022) et la maitrise des outils utilisés (e.g., Un et al., 2022). En second lieu, les (2) stratégies et les heuristiques permettent d'assurer une navigation « suffisante » en limitant l'importance du raisonnement cognitif (e.g., Grison et al., 2017). L'expérience de mobilité facilite le déploiement de ces stratégies, notamment par l'habitude (e.g., Hölscher et al., 2011). Cette même expérience entraine la mobilisation de (3) connaissances spatiales qui soutiennent une navigation à l'estime (e.g., Montuwy, 2018) ; et des (4) représentations spatiales, qui forment des images mentales où l'usager y place sa position et celles des différents objets pour soutenir ses besoins successifs d'orientation (Montello, 2005). En situation, (5) l'attention guide l'usager dans la recherche d'éléments soutenant les décisions de navigation (Tom et al., 2008). Les (6) fonctions kinesthésiques et vestibulaires lui permettent de maintenir une orientation stable en fonction de ses propres

déplacements (Cornell & Greidanus 2006). Enfin, la (7) planification soutient la définition de l'itinéraire comme un plan guidant les actions motrices de l'usager (Passini et al., 2000).

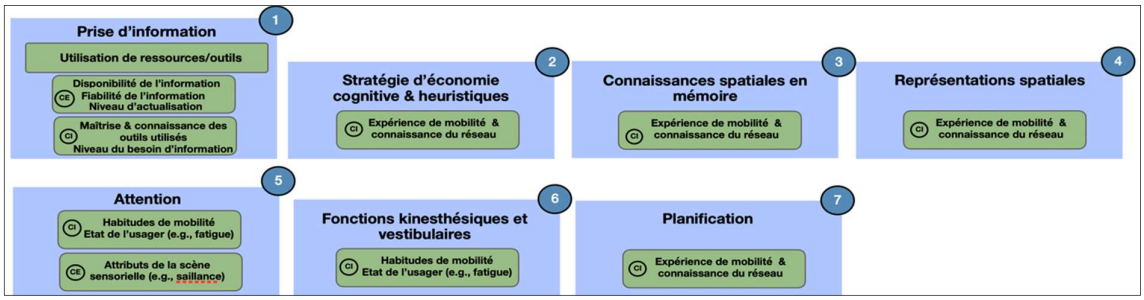


Figure 2 : Modélisation des processus cognitifs de la navigation spatiale en TC et des variables associées.

Cette représentation des dimensions cognitives pourrait soutenir le développement d'une analyse conceptuelle visant la compréhension des processus mentaux les plus problématiques, c'est-à-dire les plus associés à l'apparition d'une EH. Elle permettrait d'étudier : (1) les différentes étapes d'élaboration mentale de l'action en situation effective ; (2) l'étape cognitive défaillante, c'est-à-dire celle qui a mené à la production d'un comportement erroné observable ; (3) les facteurs qui sous-tendent la défaillance des processus mentaux pendant la navigation réelle.

3.3. Modélisation des sous-étapes (ou tâches effectives) et variables de la navigation en TC

Les dernières composantes concernent la répartition de 49 sous-étapes (ou tâches effectives) et de 12 variables de navigation. La nature des sous-étapes étant fortement influencée par le degré de connaissance du trajet (e.g., Enaux, 2009), nous les avons associées à deux types de trajets (i.e., trajet connu ; trajet inconnu). Nous ne détaillons ici que quelques exemples de liaisons entre les étapes, variables et sous-étapes de navigation, afin d'illustrer les points de lecture de notre modèle (figure 3).

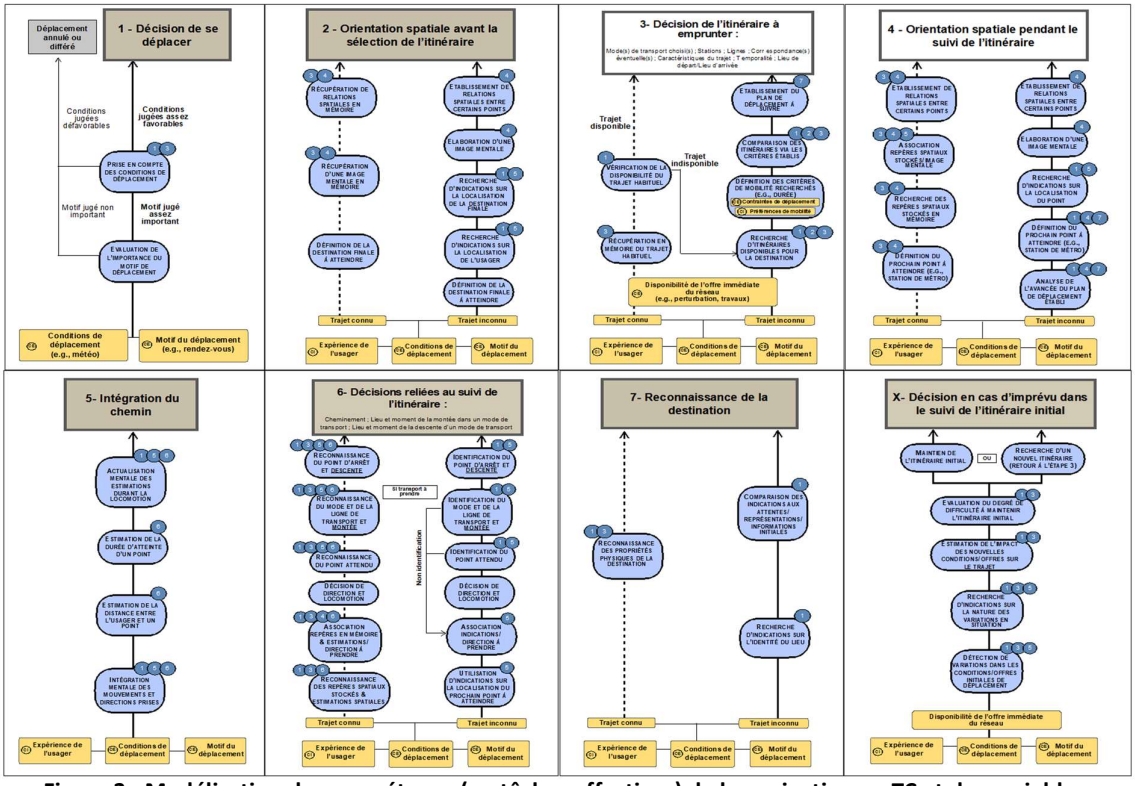


Figure 3 : Modélisation des sous-étapes (ou tâches effectives) de la navigation en TC et des variables associées.

Par exemple, l'étape (1) décision de se déplacer est liée à deux sous-étapes permettant son exécution, à savoir (1.1) l'évaluation de l'importance du motif de déplacement et la (1.2) prise en compte des conditions de déplacement. Les caractéristiques de ces deux sous-étapes sont, elles-mêmes, influencées par deux variables : (v.1) les conditions de déplacement (e.g., météo) et (v.2) le motif de déplacement (e.g., rendez-vous). Durant l'étape (3) décision de l'itinéraire à emprunter, deux nouvelles variables s'ajoutent, (v.3) l'expérience de l'usager et (v.4) la disponibilité de l'offre immédiate du réseau. Ces dernières permettent de définir le type de trajet et les sous-étapes de la navigation affiliées. En effet, lors d'un trajet connu, l'usager (3.1) récupère en mémoire son itinéraire habituel puis (3.2) vérifie sa disponibilité. En cas d'indisponibilité et d'absence d'autre itinéraire mémorisé, la situation s'apparente à la recherche d'un trajet inconnu. Dans ce cas, l'usager (3.3) recherche des itinéraires disponibles et (3.4) définit des critères de mobilité (e.g., durée, prix) en partie guidés par ses (v.5) contraintes de déplacement et ses (v.6) préférences de mobilité. L'usager (3.5) compare ensuite les différents itinéraires *via* ces critères avant (3.6) d'établir un itinéraire final.

Finalement, l'utilisation de ces composantes permettrait d'effectuer un travail de liaison entre les tâches de navigation, leurs caractéristiques (i.e., modalités des variables en situation réelle), et enfin, des formes et types d'erreurs détectées. Une comparaison entre les caractéristiques de la tâche et les caractéristiques de l'erreur en sortie conduirait à définir des sources d'erreurs et à associer des tâches à des erreurs spécifiques. Ces éléments pourraient traduire une démarche de compréhension qui : (1) catégoriserait des EH en les ordonnant selon leur(s) tâche(s) d'apparition ; (2) isolerait - parmi les caractéristiques des étapes - des variables et facteurs contribuant à la production d'EH caractérisées.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de cette communication était de proposer un modèle de la navigation en TC structurant un ensemble de composantes pouvant soutenir une analyse des EH en situation. A cette fin, nous avons établi une démarche de conception basée sur une intégration (1) des lacunes de modélisation actuelles de la navigation et (2) des attributs génériquement étudiés dans l'analyse des scénarios d'EH.

En termes d'apports, cette modélisation propose un cadre holistique pour intégrer l'expérience totale rapportée par l'usager pour aboutir à un recensement plus fidèle de la nature et l'importance réelles des EH spécifiques à la navigation en TC. L'élaboration de notre modèle soutient également une double approche, descriptive et explicative, des EH. L'approche descriptive se développerait par une analyse formelle des EH et leur catégorisation au sein des sous-étapes identifiées. L'approche explicative serait, tout d'abord, nourrie par une compréhension des défaillances issues du raisonnement mental de l'usager et ce, par l'analyse des différents processus cognitifs localisés. Elle serait ensuite complétée par une détection, parmi les variables de navigation repérées, de facteurs pouvant favoriser l'apparition d'une EH en situation réelle.

En résumé, l'orientation d'une stratégie de recherche autour de la conception d'éléments constitutifs d'un modèle des EH de l'usager en TC parait adaptée. Les études s'orientant vers une compréhension des mécanismes de production des EH seraient fournies par un cadre d'étude clair et défini, mais aussi par des relations entre les EH et ce cadre. Sur un plan pratique, ces études pourraient mettre en évidence des dysfonctionnements dans les caractéristiques actuelles des plateformes de TC et ainsi, aboutir à des recommandations motivées. Par exemple, la détection de mécanismes cognitifs défaillants (e.g., erreur de prise d'information) permettrait de formuler des supports destinés à assurer une bonne intégration cognitive du déplacement (e.g., amélioration des sources d'information).

5. REMERCIEMENTS

Nous remercions la Région Hauts-de-France et l'Université de Picardie Jules Verne qui financent la thèse de doctorat dans le cadre de laquelle cette communication a été rédigée.

6. BIBLIOGRAPHIE

Allen, G. L. (1999). Cognitive abilities in the service of wayfinding: A functional approach. *The Professional Geographer*, *51*(4), 555-561. https://doi.org/10.1111/0033-0124.00192.

Bian, J., Li, W., Zhong, S., Lee, C., Foster, M., & Ye, X. (2022). The end-user benefits of smartphone transit apps: A systematic literature review. *Transport Reviews*, *42*(1), 82-101. https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1950864.

Böcker, L., Dijst, M., & Faber, J. (2016). Weather, transport mode choices and emotional travel experiences. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *94*, 360-373. https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.09.021

De Montmollin, M. (1997). *Vocabulaire de l'ergonomie.* Toulouse : Octarès.

Cornell, E. H., & Greidanus, E. (2006). Path integration during a neighborhood walk. *Spatial Cognition and Computation*, *6*(3), 203-234. https://doi.org/10.1207/s15427633scc0603_2.

De Vos, J., Singleton, P. A., & Gärling, T. (2022). From attitude to satisfaction: introducing the travel mode choice cycle. *Transport Reviews*, *42*(2), 204-221. https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1958952.

Enaux, C. (2009). Processus de décision et Espace d'activités/déplacements. Une approche articulant routine cognitive et adaptation événementielle. *Cybergeo: European Journal of Geography*, *453*, 1-45. https://doi.org/10.4000/cybergeo.22221.

Farr, A. C., Kleinschmidt, T., Yarlagadda, P., & Mengersen, K. (2012). Wayfinding: A simple concept, a complex process. *Transport Reviews*, *32*(6), 715-743. https://doi.org/10.1080/01441647.2012.712555.

Gomez, J., Montoro, G., Torrado, J. C., & Plaza, A. (2015). An adapted wayfinding system for pedestrians with cognitive disabilities. *Mobile Information Systems*, *2015*. https://doi.org/10.1155/2015/520572.

Grison, E., Burkhardt, J. M., & Gyselinck, V. (2017). How do users choose their routes in public transport? The effect of individual profile and contextual factors. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *51*, 24-37. https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.08.011.

Hölscher, C., Tenbrink, T., & Wiener, J. M. (2011). Would you follow your own route description? Cognitive strategies in urban route planning. *Cognition*, *121*(2), 228-247. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.06.005.

Lakehal, A., Lepreux, S., Letalle, L., & Kolski, C. (2018). Modélisation des états de la tâche de wayfinding dans un but de conception de système d'aide à la mobilité des personnes présentant une déficience intellectuelle. In *30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine* (pp.7).

Mabrouk, H. H. (2010). Introduction à la sécurité et à l'analyse des risques technologiques et humains. In *3ème Symposium International sur la Maintenance et la Maîtrise des Risques* (pp.16).

Montello, D. R. (2005). *Navigation*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.008.

Montuwy, A. (2018). *Efficacité et expérience utilisateur de guidages visuels, auditifs et haptiques pour les piétons âgés* [Thèse de Doctorat, Université Paris-Saclay]. HAL. https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01990653/document.

Mo, B., Von Franque, M. Y., Koutsopoulos, H. N., Attanucci, J. P., & Zhao, J. (2022). Impact of unplanned long-term service disruptions on urban public transit systems. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, *3*, 551-569. http://dx.doi.org/10.1109/OJITS.2022.3199108.

Passini, R., Pigot, H., Rainville, C., & Tétreault, M. H. (2000). Wayfinding in a nursing home for advanced dementia of the Alzheimer's type. *Environment and Behavior*, *32*(5), 684-710. https://doi.org/10.1177/00139160021972748.

Rahimi, E., Shamshiripour, A., Shabanpour, R., Mohammadian, A., & Auld, J. (2019). Analysis of transit users' waiting tolerance in response to unplanned service disruptions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *77*, 639-653. https://doi.org/10.1177/0361198120911921.

Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge university press.

Rocci, A. (2015). Comment rompre avec l'habitude ?. *Espace populations sociétés, 2015, 1-2*. https://doi.org/10.4000/eps.6027.

Rocci, A. (2019). Réflexions pour une proposition d'innovation méthodologique appliquée aux programmes d'incitation au changement de comportements de mobilité. *RTS-Recherche Transports Sécurité*, *2019*, 11p. https://doi.org/10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2019-09.

Rüetschi, U. J., & Timpf, S. (2005). Modelling wayfinding in public transport: Network space and scene space. In *Spatial Cognition IV. Reasoning, Action, Interaction: International Conference Spatial Cognition*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32255-9_2.

Tom, A., Auberlet, J. M., & Brémond, R. (2008). Approche psychologique de l'activité de traversée des piétons. Implications pour la simulation. *Recherche Transports Sécurité*, *101*, 265-279. https://doi.org/10.3166/rts.101.265-279.

Un, P., Adelé, S., Vallet, F., & Burkhardt, J. M. (2022). How does my train line run? Elicitation of six information-seeking profiles of regular suburban train users. *Sustainability*, *14*(5), 2665. https://doi.org/10.3390/su14052665.

Vandenberg, A. E. (2016). Human wayfinding: integration of mind and body. In *Community Wayfinding: Pathways to Understanding* (pp. 17-32). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31072-5_2.

La sécurité en laboratoire de biologie. Un exercice entre risques et sécurité.

William SUAREZ

CRTD, 41 rue Gay-Lussac 75005 Paris. willsuarez@hotmail.com

Vanina MOLLO

CERTOP-UMR 5044 CNRS, Jean Jaurès 5, allée Antonio Machado F-31058 Toulouse Cedex 9

vanina.mollo@lecnam.net

Aude VILLEMAIN

CIAMS, Rue Pierre de Coubertin 91405 Orsay Cedex-CRTD, 41 rue Gay-Lussac 75005 Paris

aude.villemain@univ-orleans.fr

& Adelaïde NASCIMENTO

CRTD, 41 rue Gay-Lussac 75005 Paris. adelaide.nascimento@lecnam.net

RÉSUMÉ

Cette communication a pour objectif de présenter les apports théoriques et les premiers résultats de la phase de conceptualisation d'un travail de recherche sur la construction de la sécurité en laboratoire de biologie. Nous avons réalisé une révision de littérature et des entretiens exploratoires. Peu d'études semblent s'être intéressées aux conditions de travail, aux mesures d'adaptation, à la construction de la sécurité dans les laboratoires de biologie. Les notions de perception et de construction du risque, d'impensé et d'impensable, de travail en milieu confiné et hostile, de risques émergents apparaissent. Notre démarche nous a ouvert un champ de réflexion et d'étude qui nous conforte dans notre souhait de poursuivre la recherche sur ce sujet encore peu exploré par les sciences humaines et l'ergonomie.

MOTS-CLÉS

Sécurité, impensé, laboratoire de biologie, hôpital, ergonomie.

1. INTRODUCTION

Le travail en laboratoire de biologie médicale a été mis en avant à l'occasion de la crise sanitaire. Lors des activités de diagnostic ou de recherche, les opérateurs sont exposés au risque de contamination malgré les procédures et les moyens de protections. La sécurité dans cet environnement revêt plusieurs aspects : la gestion des risques professionnels, la gestion d'un risque sociétal, la contamination croisée des prélèvements. L'activité en laboratoire est souvent présentée par le résultat et la fiabilité du diagnostic mais peu d'études semblent s'être intéressées aux conditions de travail, aux mesures de régulations, à la construction de la sécurité. Cette communication est une réflexion autour de la phase d'élaboration de cette recherche basée sur quatre entretiens exploratoires et sur une revue de question théorique. Cela nous a permis d'élaborer l'idéation du sujet d'étude.

2. LA CONSTRUCTION DE LA SECURITE EN LABORATOIRE : APPORT DE LA LITERATURE.

73% des salariés de la fonction publique hospitalière sont exposés aux agents biologiques[12]. Près de 4% des opérateurs ont une exposition inhérente au processus de travail[13]. Les sources de contamination diffèrent en laboratoire et sont liées aux types de tâches (prélèvements, aérosols, centrifugation…) et aux objets d'analyses (sang, liquides biologiques, échantillons frais, écouvillons, drains…). Des cas de transmissions d'agents infectieux à des opérateurs de laboratoire ont été décrits. C'est le cas de *Staphyloccocus aureus* (Pougnet & Pougnet, 2016) ; de prion (Brandel et al., 2020) ; ou des agents parmi les plus virulents (Ebola, peste…) (Silver, 2015).

Il existe des guides ou manuels relatifs à la sécurité en laboratoire de biologie (OMS, INRS). Outre les nombreuses procédures, ils reprennent la règlementation, la classification des agents infectieux, les risques, les protections, les conséquences d'une infection. Un réseau de laboratoires Européens de haute sécurité existe. Les équipements de protection (EP) ne garantissent pas une protection optimale. Il y a des énigmes autour de ces derniers. Des cas de contamination avec ADNc (SARS-CoV-2) de l'environnement et des personnes malgré les EP (Montgomery et al., 2021). D'autres études questionnent les conséquences physiologiques du port d'EP et la baisse de performance ou l'intérêt d'équipement moins protecteurs offrant un confort et une mobilité plus importants et diminuant les risques de piqures/coupures. Peu de place est laissée à la parole des opérateurs (Llory, 1986) ou de mise en débat de la sécurité ce que l'ergotoxicologie propose avec le risque chimique (Mohammed-Brahim & Garrigou, 2009).

Les derniers concepts de sécurité prennent en compte l'activité avec les composantes réel/prescrit. La construction de la sécurité serait composite avec la *sécurité réglée* (les procédures, les protocoles) et la *sécurité gérée* (adaptation des opérateurs aux aléas) (Morel et al., 2008). Les opérateurs développent des initiatives pour faire face aux situations rencontrées. Cet aspect constructif de sécurité *en action* (de Terssac et al., 2009) soutient la dualité de la construction de la sécurité et son ancrage dans l'activité. Ces dernières années plusieurs travaux défendent l'intérêt d'une approche constructive de la sécurité, qui ne se limite pas à l'écart entre prescrit et réel, mais qui vise à étudier comment la sécurité se construit au quotidien au cours de l'activité. Le dialogue entre sécurité réglée et gérée et la construction de la sécurité en action sous- entend une perception des risques (Kouabenan et al., 2015) et une construction du sens, « sensemaking » (Weick, 1995), pour l'action, en action. Cette perception de la sécurité est différente suivant la position des opérateurs par rapport à l'action. La notion d'impensé a émergé avec Fukushima (Guarnieri, 2015) ou la crise Covid-19 (Villemain & Suarez, 2023).

3. LA PHASE EXPLORATOIRE

3.1. Objectifs et méthodes

L'objectif de cette recherche est de comprendre la sécurité en laboratoire de biologie médicale en se basant sur l'analyse de l'activité. Une phase exploratoire a démarré où nous avons confronté les premiers éléments de la littérature aux préoccupations des opérateurs de terrain. Nous avons mené des entretiens semis-directifs au sein d'un groupe hospitalier Parisien. En juin 2022, 3 entretiens ont été menés auprès de la cadre et d'ingénieurs exerçant dans le même laboratoire de pathologie comprenant une trentaine d'opérateurs. En décembre 2022, un entretien a été initié auprès de deux chefs de laboratoires de microbiologie. Une soixantaine d'opérateurs y exercent. L'idée était de discuter d'une recherche autour de la sécurité. La durée moyenne des entretiens était de 45 minutes.

[12] Enquête SUMER, 2017

[13] Dares, 2021. Chiffres clés sur les conditions de travail et la santé au travail.

Les données recueillies par prise de notes ont été retranscrites et catégorisées selon la théorie ancrée de Corbin et Strauss (2008) cela en respectant les moments clefs du guide d'entretien : (1) l'activité en laboratoire, (2) problématiques en lien avec la sécurité (3) influence de la pandémie. L'investigateur exerce dans le monde hospitalier depuis 20 ans.

3.2. Résultats

Les résultats ont mis en lumière 3 thèmes : (a) les équipements de protection ; (b) la perception des risques et la construction du sens ; (c) l'impensé et l'impensable.

3.2.1. Les équipements de protection (EP)

Certains EP, qu'ils soient individuels ou collectifs, apparaissent contraignants pour réaliser l'activité. Si les équipements épais et couvrant sont privilégiés, ils limitent certains mouvements alors que des EPI plus légers et confortables favorisent l'amplitude et la précision des mouvements.

« On ajoute des blouses plus épaisses, des masques plus filtrant mais c'est une pathologie extrêmement rare, on va encore en ajouter depuis les décès… » (Ingénieur de recherche, juin 2022) ; « Porter des gants ça minimise le risque en cas de piqure mais on est moins agile donc on augmente le risque de piqure. » (Cadre de santé, juin 2022).

Ces effets ont été exacerbés par la pandémie. Le nombre de prélèvements ayant augmenté significativement, les EP ont été difficiles à supporter sur des durées allongées dans un environnement confiné et hostile.

« Nos personnels étaient équipés (masques, blouses, gants…) dans le L3 « émergeant » pendant le Covid. Il est petit, le sas n'est pas très grand, si l'on peut avoir des pistes sur les EPI, nos agents avaient du mal à les supporter, ils transpiraient énormément et la gestion des emballages qui encombraient le sas, il y avait des triples emballages pour chaque prélèvement. » (Responsable 1, décembre 2022).

3.2.2. La perception des risques et la construction du sens

La perception des risques dépasse la sphère professionnelle ; elle intègre la sphère privée.

« Ma femme me demande si je veux continuer dans ce laboratoire. » (Ingénieur de recherche, juin 2022) ; « Ne ramène pas tes trucs du labo » (Ingénieur de recherche, juin 2022).

Plusieurs stratégies sont développées pour faire face à ces questions :

- La « procéduralisation » avec l'ajout d'EPI toujours plus importants

*« Quand je suis arrivé en 97, il n'y avait rien, pas de procédure, pas de référent sécurité, on a tout construit. » (*Ingénieur de recherche, juin 2022) ; *« Quel que soit le labo on n'est pas assez protégé » (Cadre de santé, juin 2022).*

- Le choix de « nier » les pratiques ou de ne pas mentionner l'objet de travail à l'entourage

« Je fais l'autruche, je ne pense pas aux risques encourus à travailler sur ces pathogènes » (Ingénieur d'étude, juin 2022) ; « Ma famille et mon conjoint je leur ai menti, ils ne savaient pas que je travaillais sur cet agent pathogène » (Ingénieur d'étude, juin 2022).

Différentes stratégies sont en place pour faire face et construire le sens individuel et collectif de l'activité. La perception des risques se construit également collectivement, eu égard aux différences de pratiques entre les laboratoires.

« Il serait dans un deuxième temps peut être intéressant de comparer la sécurité dans les laboratoires viro/bactério et un laboratoire où les analyses ne se sont pas portées vers l'identification bactérienne ou virale. » (Responsable 2, décembre 2022).

3.2.3. L'impensé et l'impensable

La crise sanitaire, entre autres, a transformé la perception (conscience) des risques en ce sens qu'elle a conduit les opérateurs à penser (conscientiser) l'impensé de par son incorporation au cours de l'activité.

« En bactériologie, pendant le Covid, nous ne prenions quasi plus de prélèvements devant les incertitudes et l'inconnu des modes et risques de contamination » (Responsable 2, décembre 2022).

Le bioterrorisme quant à lui constitue un impensé « théorique » en ce sens qu'il n'a pas émergé du vécu. En revanche l'expérience Covid peut être une ressource pour se préparer à gérer cet impensé.

« Un regard sur la sécurité permettrait d'alimenter nos réflexions sur le sujet Biotox. » (Responsable 2, décembre 2022) ; « On nous demande de travailler sur ce sujet, nous avons commencé, votre travail pourrait alimenter les réflexions » (Responsable 1, décembre 2022)

4. DISCUSSION

Ces premiers résultats font ressortir certaines caractéristiques du travail en laboratoire : le sujet des EP mais a aussi mis en avant une activité spécifique au laboratoire de confinement cela montre une construction du sens particulier à ce milieu.

4.1. L'activité en environnement hostile et confiné

L'activité en environnement hostile (environnement où l'activité humaine est complexe, contraignante et à risque pour la santé) et confiné (isolement dans un espace des individus, substances, pathogènes) est spécifique à certaines tâches en laboratoires. Nous avons mis en avant à la fois les contraintes induites par les EP mais aussi les questionnements autour de la construction du sens (Weick, 1995) de l'activité dans ce milieu. Nos résultats montrent que les opérateurs se questionnent sur leur activité dans ces espaces en interrogeant leur sécurité et celle de leur entourage. Les normes et règles peuvent minimiser l'adaptation face aux aléas, l'impensé et l'imprévu (Guarnieri, 2015 ; Villemain & Suarez, 2022).

4.2. L'activité biologie médicale, quelle couleur de sécurité ?

La sécurité dans le monde des laboratoires comme dans le soin de manière générale est essentiellement en relation avec les normes, règles, accréditations, certifications. Il s'agit de la perception des risques (Kouabenan et al, 2015) et de leur gestion par l'organisation. Nous pourrions qualifier ces éléments de sécurité distale (loin de l'objet de travail). Les opérateurs quant à eux ont une gestion des risques au quotidien en action (de Terssac et al., 2009) avec une perception opérative autour des enjeux de sécurité et de santé. Nous pourrions qualifier cette construction de gestion de risque proximale (proche de l'activité). La discussion entre ces deux perceptions a été provoquée dernièrement dans les laboratoires par les crises Covid ou Monkeypox. Cela peut constituer une alerte dans le sens ou l'impensé s'est immiscé dans l'activité et les opérateurs ont dû composer pour y faire face en action. L'ergotoxicologie met en débat ces deux constructions du sens autour du risque chimique (Mohammed-Brahim & Garrigou, 2009), engendrant des questionnements autour des EPI. Ces mêmes questionnements sont retrouvés dans les laboratoires. Par contre, des spécificités apparaissent avec notamment l'exercice en milieu confiné et hostile et le travail sur les agents pathogènes. Les perspectives ouvertes par ces premiers résultats sont encourageantes pour la poursuite de notre travail. Ils questionnent la construction du sens et la perception de la sécurité et des risques.

5. CONCLUSION

Les éléments issus des entretiens exploratoires nous ont permis de confronter nos premières idées et les éléments de la littérature aux préoccupations de terrain. La construction de la sécurité distale et de la gestion des risques proximale sont soulevées. Par ailleurs, l'exercice en milieu confiné et hostile est abordé. Il est étudié pour le spatial (Rivolier, 1997), les activités polaires en Antarctique (Villemain & Lémonie, 2014) ou dans le nucléaire en phase de démantèlement (Champion, 2021). A notre connaissance aucune étude n'a travaillé sur cet aspect de l'activité en laboratoire. Enfin les notions d'impensé, d'imprévu, de *sensemaking* semblent transversales à plusieurs sujets évoqués. Elles seront étudiées en les situant dans les laboratoires de biologie médicale. Il y a donc des énigmes à résoudre tant sur l'aspect théorique concernant la construction de la sécurité dans l'univers des laboratoires que sous les aspects pratiques avec les questionnements des opérateurs autour de la sécurité. Cette communication pose plus de questions qu'elle n'y répond et c'est son objectif : faire un état de la phase de conceptualisation d'une recherche, phase qui ouvre la porte sur le travail qui reste à mener.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brandel, J. P., Vlaicu, M. B., Culeux, A., Belondrade, M., Bougard, D., Grznarova, K., ... & Haïk, S. (2020). Variant Creutzfeldt–Jakob disease diagnosed 7.5 years after occupational exposure. *New England Journal of Medicine*, 383(1), 83-85. DOI : 10.1056/NEJMc2000687.

Champion, D. (2021). Synthèse : Les risques sanitaires associés au démantèlement des centrales nucléaires françaises. *Environnement, Risques & Santé*, 6(1), 24.

Corbin, J., & Strauss, A. (2008). *Strategies for qualitative data analysis. Basics of Qualitative Research. Techniques and procedures for developing grounded theory*, 3. Sage.

DOI : https://doi. org/10.4135/9781452230153.n4

De Terssac, G., & Mignard, J. (2011). *Les paradoxes de la sécurité. Le cas d'AZF*. PUF. ISBN: 2130590500.

Guarnieri, F., Travadel, S., Martin, C., Portelli, A., & Afrouss, A. (2015). *L'accident de Fukushima Dai Ichi-Le récit du directeur de la centrale*. Volume 1 : L'anéantissement. ISBN 978-2-35671-205-9

Kouabenan, D.R., Ngueutsa, R., & Mbaye, S. (2015). Safety climate, perceived risk, and involvement in safety management. *Safety Science*, 77, 72-79. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.03.009.

Llory, M. (1996). *Accidents industriels : le coût du silence : opérateurs privés de parole et cadres introuvables*. Accidents industriels, 1-360. ISBN : 2-7384-4226-9

Mohammed-Brahim, B., & Garrigou, A. (2009). Une approche critique du modèle dominant de prévention du risque chimique. *Activités*, *06*(1). https://doi.org/10.4000/activites.2086. DOI: 10.4000/activites.2086.

Montgomery, T. L., Paavola, M., Bruce, E. A., Botten, J. W., Crothers, J. W., & Krementsov, D. N. (2021). Laboratory Worker Self-Contamination with Noninfectious SARS-CoV-2 DNA Can Result in False-Positive Reverse Transcriptase PCR-Based Surveillance Testing. *Journal of Clinical Microbiology*, 59(7), e00723-21. DOI: https://doi.org/10.1128/JCM.00723-21.

Morel, G., Amalberti, R., & Chauvin, C. (2008). Articulating the differences between safety and resilience: the decision-making process of professional sea-fishing skippers. *Human factors*, 50(1), 1-16. DOI 10.1518/001872008X250683.

Pougnet, R., & Pougnet, L. (2016). Infection à Staphylococcus aureus PVL+ chez un technicien de laboratoire. *Annales de Biologie Clinique* (Vol. 74, No. 6, pp. 708-711). Doi : 10.1016/j.admp.2016.03.439

Rivolier, J. (1997). *L'homme dans l'espace : une approche psycho-écologique des vols habités*. FeniXX. ISBN: 213048249X

Silver, S. (2015). Laboratory-acquired lethal infections by potential bioweapons pathogens including Ebola in 2014. *FEMS microbiology letters*, 362(1), 1-6. doi: 10.1093/femsle/fnu008

Villemain, A., & Lémonie, Y. (2014). Environnement capacitant et engagement des opérateurs : une mise en débat à partir de l'activité des techniciens de la base polaire Dumont D'Urville. *Activités*, 11(11-2). https://doi.org/10.4000/activites.1063

Villemain, A., & Suarez, W. (2023). Les pratiques professionnelles au cœur de la crise dans la gestion de l'urgence : l'exemple de la crise du COVID-19. *Psychologie du Travail et des Organisations*. https://doi.org/10.1016/j.pto.2022.11.002

Weick, K. E. (1995). *Sensemaking in organizations* (Vol. 3). Sage. ISBN-10 : 080397177X

3 Communications Longues (= CL) et

1 Communications Courte (= CC)

CL : *L'ergonomie de conception prend-elle suffisamment en compte les interactions multi-utilisateurs ? Vers une construction d'outils méthodologiques d'une approche de conception centrée utilisateur pour les technologies multi-utilisateurs.*

Chaniaud Noémie[1,2], Fleury Sylvain[3]

1. Ecole Nationale Supérieure de Cognitique, Institut Polytechnique de Bordeaux – noemie.chaniaud@ensc.fr

2. IMS CNRS UMR5218, Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système – noemie.chaniaud@ims-bordeaux.fr

3. Arts et Métiers Institute of Technology, LAMPA, HESAM Université

RÉSUMÉ

La démarche de conception centrée utilisateur est devenue incontournable afin de s'assurer de l'utilité, de l'acceptation et de l'utilisabilité d'une nouvelle technologie. Néanmoins, l'émergence des technologies collaboratives et multi-utilisateurs (le métavers, la e-santé, l'industrie du futur, les jeux en ligne, l'enseignement à distance, les plateformes de mises en relation, etc.) soulève de nouveaux enjeux de conception auxquels les méthodes et les modèles ne sont pas adaptés. L'usage de ces technologies devient dépendant des attentes qu'ont les utilisateurs les uns par rapport aux autres. Dans ce présent acte, à travers 3 projets de recherche actuellement en cours, nous proposons des pistes de réflexion afin d'élargir la conception centrée utilisateur à ces nouvelles formes d'usages. Ces projets permettront une meilleure prise en compte des enjeux de la conception multi-utilisateur grâce aux développements de nouvelles méthodes, modèles et choix de conception ergonomiques dans un contexte de conception éthique et responsable.

MOTS-CLÉS

Conception centrée utilisateur, multi-utilisateur, interaction humain-machine, technologies émergentes, collaboration

1. INTRODUCTION

La démarche de Conception Centrée Utilisateur (CCU - en anglais *user-centered design*) a pour objectif de concevoir des produits/services adaptés aux utilisateurs finaux (Nielsen, 1993). L'intégration précoce des utilisateurs dans les processus de conception améliore la rentabilité temps/argent pour les entreprises ayant recours à cette démarche puisque ces derniers voient augmenter la potentielle adoption des nouveaux produits/services créés ou corrigés auprès des utilisateurs cibles. La démarche CCU se compose de 3 phases itératives (une phase d'analyse des caractéristiques des utilisateurs finaux et des environnements d'utilisation, une phase de conception et une phase d'évaluation). Le succès de son utilisation repose sur les choix des outils d'évaluation, l'identification des utilisateurs finaux intégrant leurs caractéristiques et leurs environnements, son approche itérative, le recours à une équipe de conception pluridisciplinaire, et la définition des fonctions d'interaction entre l'utilisateur et le dispositif ISO 9241-210 (2019). Dans ce présent acte,

nous questionnons d'abord l'approche de la CCU en prenant en compte ces limites et son adaptation aux nouvelles technologies collaboratives et multi-utilisateurs avant de proposer des pistes de réflexion.

1.1. L'évolution de la Conception Centrée Utilisateur.

La démarche CCU a subi de nombreuses modifications en fonction de l'évolution des usages et des technologies (anciennement ISO 9241-210, 2010, ISO 13407, 1999). Elle est née dans les années 80, alors que l'informatique grand public commençait tout juste à émerger. Depuis, des variantes sont apparues (p. ex., différentes versions de design thinking, double diamant, etc.) et les approches se sont enrichies avec diverses méthodes de tests (test guerilla, méthode RITE…), d'analyses heuristiques ou encore d'entretiens. La démarche CCU s'est peu à peu adaptée en fonction des nouvelles technologies, des nouvelles cibles et des nouveaux besoins en modernisant ses méthodes (Lindsay et al., 2012; Moget et al., 2014). Les méthodes CCU sont devenues des incontournables dans la boîte à outil de l'ergonome et sont utilisées dans la plupart des domaines intégrants de nouvelles technologies. Par exemple, dans le domaine de la santé connectée, la CCU est souvent incluse comme condition préalable au financement des projets de recherche tel que le *European Union's Horizon program.*

Néanmoins, devant les spécificités de certaines technologies, des chercheurs commencent à pointer les limites de cette démarche (p. ex. Bannon, 2011; Lespinet-Najib et al., 2017; Velsen et al., 2022). La CCU ne serait pas adaptée à la conception individualisée et personnalisée contrairement à la conception universelle ou participative (Lespinet-Najib et al., 2017). D'après Bannon (2011), la démarche CCU n'est pas suffisamment centrée sur l'humain. La prise en compte de l'utilisateur irait au-delà de la considération de ses exigences et donne la priorité à la compréhension des personnes, de leurs préoccupations, de leurs activités et, en particulier, de leurs valeurs et de leurs besoins plus fondamentaux lors de la conception de nouvelles technologies. D'après Forlizzi (2018), la CCU devrait inclure l'économie puisque les technologies sont de plus en plus conçues comme des services utilisés par de multiples parties prenantes. Une tendance notable s'oriente vers une conception pilotée par la communauté (Norman & Spencer, 2019). En effet, d'après Meyer et Norman (2020), les défis mondiaux actuels concernent des systèmes sociotechniques complexes qui nécessitent une approche ascendante où les communautés résolvent elles-mêmes des problèmes en collaboration. Ainsi, la démarche CCU doit donc s'adapter pour répondre aux nouveaux usages et aux nouvelles formes de technologie. Au regard des éléments de la littérature, énoncés précédemment, l'évolution de la CCU tend vers de nouvelles réflexions visant à inclure des perspectives et des dimensions supplémentaires dans un but de connaître et de comprendre davantage l'utilisateur final.

En parallèle, le développement des technologies numériques s'est accéléré avec l'arrivée d'internet, des smartphones ou encore des technologies immersives, qui soulèvent de nouvelles problématiques en termes d'usages, de conception et d'interactions. Les technologies deviennent des plateformes communautaires tournées vers l'autre et dépendant d'autrui et sa communauté (i.e., un groupe d'utilisateurs de la plateforme). Cela implique que pour fonctionner, certaines technologies ont besoin d'un nombre suffisant d'utilisateurs. Ces technologies n'ont d'autres fonctionnalités que de servir d'interface afin d'assister l'interaction humain-humain. La démarche CCU se doit de s'adapter à ces nouvelles conditions.

1.2. Nouveaux enjeux de la démarche de Conception Centrée Utilisateur à l'émergence de nouvelles technologies de plus en plus collaboratives.

Les technologies numériques sont de plus en plus sociales, universelles et collaboratives impliquant divers utilisateurs avec différents types d'interactions. Une application collaborative est un outil permettant de mettre en relation par l'intermédiaire d'une interface plusieurs utilisateurs. Cela concerne les jeux en ligne, la e-santé (entre un patient et son médecin), le commerce en ligne (un vendeur et un acheteur), les jeux vidéo (ils sont de plus en plus multi-joueurs, du fait que les joueurs

ont tendance à préférer avoir comme ennemi des humains plutôt qu'une intelligence artificielle ; Madan, 2020), etc. Les modalités d'interactions peuvent être synchrones (p. ex. visio-conférence, téléconsultation), asynchrones (p. ex. chat, forum, messagerie), symétriques (les utilisateurs ont le même statut : par exemple deux joueurs dans les jeux en lignes) ou encore asymétriques (les utilisateurs n'ont pas le même statut : un soignant et un soigné, un enseignant et un apprenant, etc.). Dans le cas des plateformes multi-utilisateurs mettant en relation plusieurs catégories d'utilisateurs aux rôles différents, l'acceptation, l'expérience utilisateur et l'utilité pourraient être liées aux attentes envers les autres utilisateurs (ou futurs utilisateurs), à leurs caractéristiques et à leur capacité à répondre à ses attentes ou plus simplement à la présence d'une communauté (Fleury & Chaniaud, 2023).

Il existe d'ores et déjà de nombreux exemples démontrant l'impact des caractéristiques multi-utilisateurs d'une technologie sur l'expérience d'un utilisateur. Par exemple, le discours d'un médecin anesthésiste lors d'une consultation impacte le *risque perçu* d'un patient utilisateur sortant de chirurgie ambulatoire dans l'utilisation d'une application de suivi à distance et donc impactant directement l'utilisabilité de cette application (Chaniaud, 2020). Le patient sera plus enclin à prendre son temps pour manipuler le dispositif de monitoring (et réduira le risque d'erreur de manipulation) s'il est conscient des risques réels d'une mauvaise utilisation préalablement présentés par l'anesthésiste lors d'une consultation. Ce même médecin sera plus favorable à utiliser le dispositif de suivi à distance si le patient est rigoureux dans son utilisation. Chaque partie prenante à des attentes vis-à-vis de l'utilisateur cible et *vice versa*. C'est également le cas des expériences des utilisateurs du co-voiturage longue distance (Cahour et al., 2018). Dans l'étude de Cahour et al. (2018), les auteurs ont montré que les utilisateurs ont des attentes différentes en fonction de leur rôle (conducteur ou passager). La prise en compte de ces attentes (e.g., présentations des passagers entre eux, gestions des bagages, informations sur le voyage) est essentielle pour une expérience réussie, sa réitération et donc pour l'engagement dans ce type de services associés à l'économie collaborative.

Dans des applications de ce type, l'expérience de l'utilisateur et sa satisfaction dépendent vraisemblablement plus des caractéristiques de la communauté d'utilisateurs que de choix d'ergonomie d'interface qui dans ce cas pourraient apparaître plus secondaires.

Les premières conceptions des interfaces multi-utilisateurs présentent déjà les lacunes d'une mauvaise intégration des divers utilisateurs. Par exemple, dans le domaine de l'apprentissage en réalité virtuelle, les recherches utilisateurs sont généralement centrées sur l'apprenant et oublient la présence de l'enseignant (p. ex. Hamilton et al., 2021). Ce dernier se retrouve souvent sans interface dédiée pour animer les sessions de cours. De plus, l'émergence de ces technologies sociales font apparaître de nouveaux comportements négatifs pouvant mener à des discriminations (p. ex. Carol et al., 2019; Su & Mattila, 2020). Ces maux sont les symptômes de mauvais choix de conception associés à un besoin de mise à jour de la démarche CCU aux contraintes des technologies multi-utilisateurs.

Aujourd'hui, à notre connaissance, aucune étude dans le domaine de la conception d'interface n'a porté sur la théorisation du processus de conception des technologies multi-utilisateurs, probablement parce que cette problématique n'est pas suffisamment claire et commence seulement à être référencée (p. ex. Bhattacharyya et al., 2020; Fleury et al., 2017; Fleury & Chaniaud, 2023). Au regard de la littérature et des exemples précédemment cités, nous faisons le constat d'un manquement de prise en compte des interactions entre les utilisateurs dans le processus de CCU pouvant impacter directement l'adoption et l'expérience utilisateur (Fleury & Chaniaud, 2023). Plus concrètement, nous constatons que ces problèmes liés à la non prise en compte des aspects multi-utilisateurs proviennent de méthodes inadaptées. Nous constatons également que les modèles issus des grands domaines de l'ergonomie sont également à mettre à jour afin d'intégrer ces technologies multi-utilisateurs. Enfin, la démarche CCU devrait également intégrer des propositions de conception afin de limiter les comportements négatifs que l'on peut retrouver sur les plateformes collaboratives

et multi-utilisateurs. Au regard des limites de la CCU préalablement énoncées pour les technologies numériques multi-utilisateurs, nous proposons des pistes de recherche en cours afin de répondre à ces lacunes identifiées.

2. PISTES DE RECHERCHE POUR UNE CONCEPTION CENTREE MULTI-UTILISATEUR

2.1. Vers une mesure du "Multi-User eXperience" (MUX)

Aujourd'hui, l'évaluation de l'expérience utilisateur est une démarche relativement commune pour les concepteurs de technologies digitales. Les deux modèles majeurs de l'expérience utilisateur sont celui d'Hassenzahl, (2004) et celui de Mahlke (2008). Ces deux modèles décrivent l'expérience utilisateur comme reposant sur des caractéristiques utilitaires du produit (utilité, utilisabilité) et des caractéristiques hédoniques (confort, plaisir, amusement, stimulation, etc.). Le modèle de Mahlke met davantage l'accent sur les réactions émotionnelles des utilisateurs, les jugements (concernant le produit) et les comportements (d'usage du produit ou de choix d'une alternative) qui vont être issus de l'expérience utilisateur.

L'expérience utilisateur est donc un phénomène psychologique multicomponentiel qui est habituellement mesuré par questionnaire. Un des questionnaires les plus populaires est l'ATTRAKDIFF (Hassenzahl et al., 2003). Ses items mesurent les qualités pragmatiques (utilité et utilisabilité, ce qui va aider à l'atteinte des objectifs) et les qualités hédoniques (ce qui va apporter du plaisir à l'utilisateur, la stimulation, l'identification et l'attractivité). Le meCUE est un autre questionnaire mesurant l'expérience utilisateur, basé sur la perception du produit (utilité, utilisabilité, esthétique, etc.), les émotions (positives et négatives) et les conséquences en termes d'usage (Lallemand & Koenig, 2017). Enfin, le User Experience Questionnaire (UEQ) fait aussi partie des plus utilisés. Il mesure l'attractivité, la facilité de prise en main, l'efficience, la fiabilité, la stimulation et la nouveauté (Schrepp et al., 2017).

Nous constatons qu'aucun modèle ni questionnaire concernant l'expérience utilisateur ne traite du rôle des autres utilisateurs du produit. Certaines adaptations ont été réalisées pour prendre en compte des contextes spécifiques ou encore certains types de technologies, mais aucun n'inclut de dimension concernant l'aspect multi-utilisateur d'une technologie. Pourtant, il existe de nombreux exemples de situations dans lesquelles l'expérience utilisateur est intrinsèquement liée à l'aspect multi-utilisateur et la manière dont les interactions avec les autres utilisateurs se déroulent. L'objectif du projet MUX est de valider une échelle évaluant le "Multi-User eXperience" (MUX). Cette échelle pourrait inclure des dimensions renvoyant spécifiquement à l'expérience en termes d'interactions sociales et aux attentes vis-à-vis des autres utilisateurs :

- La présence sociale, c'est-à-dire le sentiment d'être avec la personne. Cet aspect semble important pour les outils de communication à distance en particulier ;
- L'agréabilité des interactions humain-humain ;
- L'adéquation aux besoins, équivalent social de l'utilité perçue, les profils des autres utilisateurs peuvent être plus ou moins adéquats pour répondre aux besoins d'un utilisateur donné. Afin de satisfaire les divers besoins de ces utilisateurs, les technologies collaboratives ont besoin d'un vivier suffisant d'utilisateurs. Par exemple, dans les plateformes de mises en relation, il faut une parfaite adéquation entre les besoins d'un vendeur et d'un acheteur. Pour augmenter cette probabilité de rencontre pour satisfaire les utilisateurs, il est nécessaire d'avoir suffisamment d'acheteurs et de vendeurs. De même, dans une plateforme de jeu en ligne, les utilisateurs ont besoin d'appartenir à une communauté suffisamment importante afin de trouver des partenaires pour jouer lorsqu'ils le souhaitent ;

- L'adéquation aux attentes, par exemple, un joueur de jeu en ligne peut préférer affronter des joueurs d'un niveau d'entraînement équivalent, ou un covoitureur peut souhaiter privilégier le choix d'un véhicule confortable.

2.2. Vers une conception plus éthique : projet collab'éthique

Malgré leurs nombreux avantages, les dispositifs multi-utilisateurs peuvent également être la source de comportements préjudiciables. Par exemple, les plateformes de mise en relation pour les échanges de services ou de biens (UBER, AIRBnB, leboncoin, BLABLACAR,etc.) peuvent conduire à des discriminations de genre (Su & Mattila, 2020) et ethniques (Carol et al., 2019). Ces conséquences néfastes sont notamment le résultat de choix de conception, par exemple avec des interfaces qui incitent les utilisateurs à afficher leur nom ou leur photo. Une meilleure prise en compte des besoins, contraintes et attentes des utilisateurs en relation avec leurs co-utilisateurs permettrait de faire évoluer les technologies vers de nouvelles innovations plus respectueuses de l'humain, de l'environnement et de la société.

Le projet *collab'éthique,* d'une durée de 9 mois, réalisé par les étudiants en ingénierie cognitive, a pour objectif de proposer des pistes de solutions pour rendre les interfaces moins discriminantes.

Des entretiens sont actuellement conduits auprès d'usagers d'une plateforme collaborative de location courte durée de logements. Il s'agira de mieux comprendre les comportements de discrimination en analysant les critères de choix mobilisés par les usagers pour déterminer le choix d'un hôte. Les étudiants pourront ensuite valider leurs idées en testant leurs maquettes comparées à l'application existante sans dégrader l'expérience utilisateur et conserver la confiance dans la plateforme et ses utilisateurs. L'objectif est de déboucher sur des préconisations qui permettraient de proposer des interfaces multi-utilisateurs plus éthiques, conçues pour éviter de favoriser des comportements préjudiciables tels que des discriminations de genre, d'âge ou de couleur de peau.

2.3. Vers une approche multi-utilisateur : conception d'un monde virtuel

Les mondes virtuels sont des univers numériques qui permettent aux utilisateurs de naviguer, d'interagir et de s'immerger dans un environnement virtuel. Les mondes virtuels ont un potentiel d'application dans divers domaines, tels que la formation, l'éducation, le divertissement, l'architecture, la recherche, la médecine, les affaires et plus encore. L'un des usages les plus courants des mondes virtuels est dans le domaine de la formation et de l'éducation. Les mondes virtuels peuvent être utilisés pour créer des simulations d'apprentissage interactives qui permettent aux étudiants de s'entraîner dans des environnements réalistes, sans les risques associés à la réalité. Ils peuvent également être utilisés pour créer des expériences d'apprentissage immersives, comme des visites virtuelles de musées ou des excursions virtuelles à travers des paysages historiques.

Les mondes virtuels pour la formation font partie des dispositifs technologiques s'adressant à des catégories d'utilisateurs différents (*a minima* enseignants et apprenants) qui sont amenés à interagir par ce biais. Pourtant, les démarches de conception de ces outils, lorsqu'elles sont décrites dans la littérature, suivent une démarche classique de CCU sans adaptation spécifique (p. ex. Jovanović, Aleksandar & Aleksandar Milosavljević, 2022 ; Minocha & Reeves, 2010).

Partant de ce constat, nous conduisons la conception d'un monde virtuel pédagogique en appliquant les préconisations générales sur la conception d'outils multi-utilisateurs de Fleury et Chaniaud (2023). Plus spécifiquement, étant actuellement dans les phases amont du projet, c'est une démarche de "recherche multi-utilisateur" qui est déployée, i.e. d'analyse des besoins et des attentes des futurs utilisateurs concernant l'outil, mais aussi concernant la communauté d'utilisateurs elle-même. Trois étapes principales sont déployées dans le cadre de cette démarche :

- Multi-user stories - les “user-stories” sont des descriptions en langage naturel des usages du dispositif en prenant la perspective de l’utilisateur final. Dans le cas des “multi-user stories”, le principe est le même, mais nécessite d’intégrer dans les histoires différents types d’utilisateurs et leurs interactions à travers l’outil.
- Des ateliers d’idéations avec les différents profils ont été conduits. Un focus group avec des enseignants futurs utilisateurs potentiels de l’outil a été conduit pour affiner et prioriser les besoins et élaborer des solutions, puis un atelier d’idéation a été mené avec un groupe de 40 étudiants, eux aussi futurs utilisateurs du dispositif.
- Des “tests multi-utilisateurs” sont à venir sur des premiers prototypes, c'est-à-dire des mises en situation d’usage à plusieurs en donnant de la place dans les entretiens aux questions spécifiques aux rapports avec les autres utilisateurs.

3. CONCLUSION

Comme cela a été évoqué plus haut, les méthodes de conception évoluent au cours du temps au fur et à mesure que de nouvelles problématiques émergent. La Conception Centrée Utilisateur, dont la spécificité est de permettre une bonne adéquation du produit avec les caractéristiques des utilisateurs, s’est dotée de nombreux outils méthodologiques pour être en mesure de s’adapter à une grande diversité de situations de conception.

Nous évoquons dans cet acte la nécessité de l’introduction d’une approche de conception prenant en compte les spécificités des applications collaboratives pour lesquelles le rapport à la communauté d’utilisateur apparaît comme un facteur central de l’expérience utilisateur et de l’acceptation du dispositif. Il est donc nécessaire de concevoir à présent les outils méthodologiques qui permettront de mettre en œuvre cette approche de conception multi-utilisateur.

Plusieurs outils en cours de conception ou d’exploration sont évoqués à travers les 3 projets mentionnés. Une échelle d’expérience Multi-Utilisateur sera standardisée pour évaluer les composantes de l’expérience utilisateur qui sont relatives à la communauté d’utilisateurs, sur un plan pragmatique et hédonique. Des guidelines pour concevoir des interfaces multi-utilisateurs éthiques sont aussi en cours d’élaboration. Cela permettra aux concepteurs d’éviter de faire des choix de design qui auraient tendance à favoriser des comportements préjudiciables tels que les comportements haineux ou la discrimination par exemple. Enfin, les méthodes de recherche utilisateur adaptées aux applications collaboratives sont en cours d’exploration. Sont mis en œuvre dans ce contexte la création de multi-user stories, de focus group et d’ateliers d’idéations avec des profils d’utilisateurs différents et complémentaires, mais aussi de tests multi-utilisateurs.

Ces quelques projets en cours ne suffiront pas à constituer l’ensemble des outils méthodologiques pour une adaptation complète de la Conception Centrée Utilisateur à des outils collaboratifs. Différents outils mentionnés par Fleury et Chaniaud (2023) restent encore à développer, tels que des clusters de persona, ou encore un modèle de l’acceptation technologique intégrant une ou plusieurs dimensions concernant les attentes vis-à-vis des autres utilisateurs. Nous espérons que d’autres chercheurs se saisiront de ces sujets pour contribuer à améliorer les méthodes de conception.

4. BIBLIOGRAPHIE

Bannon, L. (2011). Reimagining HCI : Toward a more human-centered perspective. *Interactions*, *18*(4), 50-57. https://doi.org/10.1145/1978822.1978833

Bhattacharyya, S. S., Verma, S., & Sampath, G. (2020). Ethical expectations and ethnocentric thinking : Exploring the adequacy of technology acceptance model for millennial consumers on multisided

platforms. *International Journal of Ethics and Systems*, *36*(4), 465-489. https://doi.org/10.1108/IJOES-04-2020-0039

Cahour, B., Licoppe, C., & Créno, L. (2018). Articulation fine des données vidéo et des entretiens d'auto-confrontation explicitante : Étude de cas d'interactions en covoiturage. *Le travail humain*, *81*(4), 269-305. https://doi.org/10.3917/th.814.0269

Carol, S., Eich, D., Keller, M., Steiner, F., & Storz, K. (2019). Who can ride along? Discrimination in a German carpooling market. *Population, Space and Place*, *25*(8), e2249. https://doi.org/10.1002/psp.2249

Chaniaud, N. (2020). *L'évaluation ergonomique de dispositifs connectés en santé pour le domicile patient dans le cadre de la chirurgie ambulatoire : Vers un modèle de l'utilisabilité adapté à la e-santé* [These de doctorat, Amiens]. http://www.theses.fr/2020AMIE0015

Fleury, F., & Chaniaud, N. (2023). Multi-user centered design : Acceptance, user experience, user research and user testing. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *0*(0), 1-16. https://doi.org/10.1080/1463922X.2023.2166623

Fleury, S., Tom, A., Jamet, E., & Colas-Maheux, E. (2017). What drives corporate carsharing acceptance? A French case study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *45*, 218. https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.12.004

Forlizzi, J. (2018). Moving beyond user-centered design. *Interactions*, *25*(5), 22-23. https://doi.org/10.1145/3239558

Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). Implementing immersive virtual reality in higher education : A qualitative study of instructor attitudes and perspectives. *Innovative Practice in Higher Education*, *4*(2), 206-238.

Hassenzahl, M. (2004). The Thing and I : Understanding the Relationship Between User and Product. In M. A. Blythe, K. Overbeeke, A. F. Monk, & P. C. Wright (Éds.), *Funology : From Usability to Enjoyment* (p. 31-42). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5_4

Hassenzahl, M., Burmester, M., & Koller, F. (2003). AttrakDiff : Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In G. Szwillus & J. Ziegler (Éds.), *Mensch & Computer 2003 : Interaktion in Bewegung* (p. 187-196). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-80058-9_19

ISO 13407:1999 (1999). Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. ISO. https://www.iso.org/fr/standard/21197.html

ISO 9241-210:2010 (2010). Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. ISO. https://www.iso.org/fr/standard/52075.html

ISO 9241-210:2019 (2019). Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210 : Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs. ISO. https://www.iso.org/fr/standard/77520.html

Jovanović, Aleksandar, and Aleksandar Milosavljević. (2022). VoRtex Metaverse platform for gamified collaborative learning. *Electronics,* 11(3), 317.

Lallemand, C., & Koenig, V. (2017). *"How Could an Intranet be Like a Friend to Me?"—Why Standardized UX Scales Don't Always Fit*. https://doi.org/10.1145/3121283.3121288

Lespinet-Najib, V., Roche, A., & Chibaudel, Q. (2017). Santé et handicap : D'une conception centrée « utilisateur » à la conception universelle. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, *Mai 2017*(2), 25-27. https://doi.org/10.3917/rindu1.172.0025

Lindsay, S., Jackson, D., Schofield, G., & Olivier, P. (2012). Engaging older people using participatory design. *Conference Proceedings - The 30th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2012*, 1199-1208. https://doi.org/10.1145/2207676.2208570

Madan, C. R. (2020). Considerations for Comparing Video Game AI Agents with Humans. *Challenges*, *11*(2), Art. 2. https://doi.org/10.3390/challe11020018

Mahlke, S. (2008). *User Experience of Interaction with Technical Systems : Theories, Methods, Empirical Results, and Their Application to the Development of Interactive Systems*. Saarbrücken, Germany : VDM Verlag.

Meyer, M. W., & Norman, D. (2020). Changing Design Education for the 21st Century. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, *6*(1), 13-49. https://doi.org/10.1016/j.sheji.2019.12.002

Minocha, S., & Reeves, A. (2010). Design of learning spaces in 3D virtual worlds : An empirical investigation of Second Life. *Learning, Media and Technology*, *35*(2), Art. 2.

Moget, C., Bonnardel, N., & Galy, É. (2014). Ergonomie prospective et âge : Proposition de méthodes nouvelles pour la conception d'un système de maintien à domicile. *Le travail humain*, *Vol. 77*(3), Art. 3. https://doi.org/10.3917/th.773.0231

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann Publishers Inc.

Norman, D., & Spencer, E. (2019, fev -12). COMMUNITY-BASED, HUMAN-CENTERED DESIGN. *Thought Based upon a Talk at the 2019 World Government Summit*. https://jnd.org/community-based-human-centered-design/

Schrepp, M., Thomaschewski, J., & Hinderks, A. (2017). Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, *4*(Regular Issue). https://www.ijimai.org/journal/bibcite/reference/2634

Su, N., & Mattila, A. S. (2020). Does gender bias exist? The impact of gender congruity on consumer's Airbnb booking intention and the mediating role of trust. *International Journal of Hospitality Management*, *89*, 102405. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2019.102405

Velsen, L. van, Ludden, G., & Grünloh, C. (2022). The Limitations of User-and Human-Centered Design in an eHealth Context and How to Move Beyond Them. *Journal of Medical Internet Research*, *24*(10), e37341. https://doi.org/10.2196/37341

CL : *Interactions de conception avec des technologies intelligentes : le potentiel de stimuler le raisonnement analogique en architecture*

Gaëlle Baudoux[1,2] & Pierre Leclercq Pierre[2]

[1]Ndrscr et [2]LUCID-ULiege – Université de Liège, Belgique – gbaudoux@uliege.be

[2]LUCID-ULiege – Université de Liège, Belgique – pierre.leclercq@uliege.be

RÉSUMÉ

Parmi les multiples assistances à la conception développées, l'analogie présente un grand potentiel. A l'aube de fortes transitions numériques, nous pensons qu'il s'agit d'une voie prometteuse pour la conception architecturale. De nouvelles technologies proposeront à l'avenir au concepteur des images d'inspiration en temps réel et en lien direct avec son activité : les images envoyées s'adapteront pour suivre l'évolution de l'artefact conçu.

Nous interrogeons les conséquences de cette pénétration d'instrumentation technologique intelligente dans les pratiques. Pour répondre à ce questionnement, nous réalisons une expérimentation contrôlée sur deux corpus d'activités de conception collaborative. Le premier présente une conception collaborative traditionnelle et sert de groupe contrôle. Le second présente la même tâche de conception collaborative mais instrumentée par une nouvelle interface technologique basée sur l'IA. Ce papier présente nos premières observations et réflexions autour de cette question des nouvelles transitions technologiques et de l'impact de leur pénétration.

MOTS-CLÉS

Conception architecturale, activités collaboratives, raisonnement analogique, interaction homme-machine, intelligence artificielle.

INTRODUCTION

Dans le contexte actuel de la seconde révolution numérique en conception et à l'aube des futurs tournants dans les pratiques, nous nous penchons sur la thématique de l'assistance à la conception architecturale. Cette activité complexe de création et de spécification d'un artefact en réponse à des contraintes multiples pourrait profiter des potentialités de nouvelles technologies numériques.

Plusieurs axes sont employés pour assister la conception : en aidant à mieux identifier les contraintes auxquelles devra répondre l'artefact, en aidant à générer des solutions grâce à des sources d'inspiration, en fournissant des méthodes d'évaluation des solutions proposées, en créant un environnement adapté à la conception collaborative ou encore en conservant les raisons des différents choix posés (Darses, Détienne & Visser, 2001 ; Safin, 2011).

Pour Safin (2011), aider au raisonnement analogique, notion largement documentée par les travaux de Bonnardel (2009), en fournissant des sources d'inspiration est une aide pertinente en ce sens qu'elle est stimulante et apporte une approche originale aux activités de conception, en élargissant les capacités de génération. Déjà en 2002, après la première révolution numérique, Leclercq et Heylighen, dans leur étude sur le raisonnement analogique, soulignaient qu' « en architecture, comme dans d'autres domaines de conception, les problèmes de conception sont généralement mal définis ou difficiles à résoudre. Cette difficulté même fait du raisonnement par analogie une stratégie de conception potentiellement puissante, puisqu'elle peut apporter des connaissances précieuses d'une situation connue à la situation de conception mal définie qui nous occupe. » (Leclercq &

Heylighen, 2002, p. 2). L'analogie visuelle, notamment, permet d'améliorer la qualité de la conception ainsi que la qualité des solutions proposées (Casakin & Goldschmidt, 1999). Plus récemment, Didier et Bonnardel (2020) appuient que « la réalisation d'analogies, et de façon plus générale d'associations d'idées, concourt à l'émergence d'idées créatives » (Didier & Bonnardel, 2020, p. 57). Ces auteurs ajoutent que considérer ce potentiel des analogies peut contribuer à réformer les pratiques dans la réalisation des tâches complexes et dans la mobilisation de la pensée créative.

2. PROBLEMATIQUE

Nous nous penchons donc sur les potentialités d'instrumenter le processus de conception architecturale au moyen d'une technologie basée sur l'IA. Cette instrumentation, présentée par ailleurs (Baudoux & Leclercq, en soumission) se propose d'envoyer en temps réel au(x) concepteur(s) des images d'inspiration adaptées à l'évolution en cours de l'artefact conçu. C'est, dans cet article, le stimulus constitué par l'envoi d'images d'inspiration qui est au cœur de notre questionnement. Nous cherchons à déterminer dans quelle mesure ce type de nouvelle technologie pénétrant les processus de conception impacte les activités de réflexion et de génération des architectes.

En cela, nous complétons Bonnardel et Zenasni (2010), ayant analysé l'impact de nouveaux systèmes d'aide à la conception sur les processus cognitifs des acteurs, et Bonnardel et Marmèche (2005) qui étudiaient l'utilité des sources d'images d'inspiration aux yeux des concepteurs.

3. METHODES

Pour évaluer l'impact du caractère stimulant et intégré de ces sources d'inspiration analogique, nous réalisons deux expériences, au protocole identique à l'exception qu'une partie des concepteurs intégreront la technologie de génération d'images d'inspiration adaptées tandis que l'autre verra mise à disposition une base de données papier d'images, sans stimulus amenant à les consulter.

3.1. Cadre expérimental

Le contexte dans lequel prend place notre expérience est celui du séminaire de recherche de l'Université de Liège intitulé « Analyse des Processus de Conception Collaborative ». Ce cadre nous permet d'intégrer l'observation d'une capsule de conception collaborative comprenant les premières phases idéatives et de spécification de l'artefact.

Le protocole scientifique de recherche menée dans ce séminaire ainsi que les détails du contexte de la capsule de conception ont déjà été largement détaillés par ailleurs (Ben Rajeb & Leclercq, 2015, 2016). L'activité de conception observée consiste en la réalisation collective, en 120 minutes, de l'aménagement d'un magasin d'optique, avec un espace de vente et un espace atelier, par une équipe de 3 sujets concepteurs (A, B et C).

Une de ces équipes disposent de tous les outils traditionnels non numériques (crayons, feutres, fonds de plan papier, calques …) ainsi que d'une base de données imprimée reprenant plusieurs images de magasins d'optique. L'autre dispose également de tous les outils traditionnels non numériques de dessin mais est en revanche outillée de la technologie de génération d'images d'inspiration.

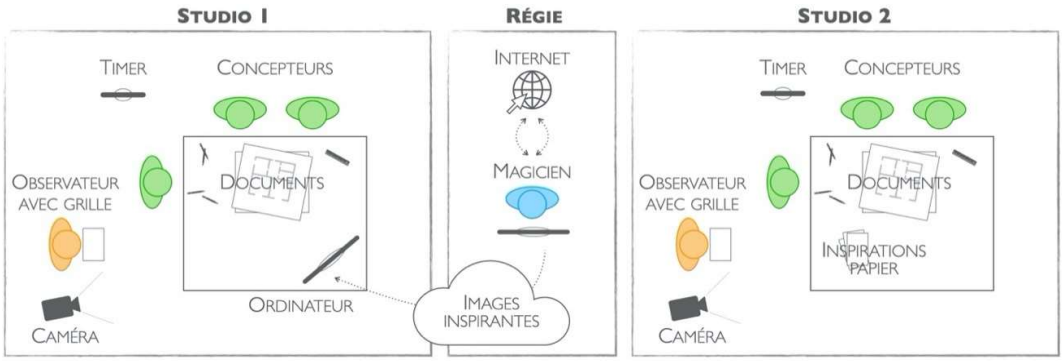
3.2. Protocole d'instrumentation

Nous instrumentons l'équipe avec stimulus analogique sur le principe du Magicien d'Oz. Cette technique est régulièrement utilisée en informatique et en robotique pour évaluer les impacts d'une technologie sur les usages et les utilisateurs ainsi que pour étudier les interactions de ces derniers avec la machine (Rietz *et al.*, 2012 ; Browne, 2019). Elle a l'avantage de ne pas nécessiter le développement préalable de la technologie puisqu'elle consiste à simuler, en temps réel et par des humains dissimulés, les fonctionnalités du logiciel innovant.

Nous mettons en place notre expérience dans trois salles adjacentes : une première salle pour l'équipe aux outils de conception traditionnels, une deuxième salle pour l'équipe outillée par le Magicien d'Oz, et une troisième d'où travaillera le magicien pour fournir les images d'inspiration. Grâce à une caméra installée au plafond et cadrant le bureau de travail, celui-ci peut suivre la conception en temps réel. A chaque nouveau focus des concepteurs ou à chaque nouvelle idée, il recherche des images d'inspiration adéquates sur des bases de données telles que Google Image, Pinterest ou ArchDaily et les envoie aux concepteurs. La figure suivante reprend des extraits d'images d'inspiration renvoyées.

<u>Figure 1 :</u> Extraits d'images d'inspiration fournies aux concepteurs (à gauche, inspirations papier – à droite, images générées par le Magicien d'Oz).

Pour une meilleure compréhension, l'ensemble des éléments du protocole, reprenant la disposition spatiale et les divers outils de conception, est schématisé ci-dessous.



<u>Figure 2 :</u> Schéma de l'espace expérimental.

3.3. Recueil des données

Nous procédons à des observations non-participantes et recueillons nos données à l'aide d'une grille d'observation. Cette grille, codée en double aveugle, caractérise chaque analogie réalisée par l'un des concepteurs au moyen de 8 critères (Ben Rajeb & Leclercq, 2016) :

- Son appariement : si elle constitue un transfert d'idée sans modification, si elle constitue une inspiration grâce à une caractéristique commune entre l'image reçue et l'artefact produit, ou encore si elle constitue une inspiration car une articulation d'objets est reprise.
- Sa source : l'analogie est-elle issue d'un contenu de document, d'une expérience/connaissance professionnelle ou d'un vécu personnel ?
- Son domaine : est-elle issue du même domaine que celui de conception, c'est-à-dire l'architecture, ou d'un domaine différent ?
- L'outil utilisé pour accéder à la référence, dans le cas d'une analogie issue d'un document.
- Son type : si elle est spontanée ou demandée.
- Son mode : l'évocation de la référence peut être implicite ou explicite.
- Son rôle : elle peut constituer une source d'inspiration ou plutôt une source d'évaluation.
- Son usage : c'est un succès si elle contribue au projet ; un échec si elle ne répond pas aux attentes ; elle peut aussi être non utilisée si elle n'est pas mise en œuvre dans le projet malgré sa pertinence ; ou elle peut être chaînée si elle conduit à une solution du problème suivant.

DESCRIPTION			ANALOGIES																						
			Appariement			Rôle		Domaine		Type		Mode		Source			Usage				Acteur			Outil
Temps [mm:ss]	Description de l'interaction	Acteur concerne	Objet	Attribut	Relation	Inspiration	Evaluation	Identique	Different	Spontanee	Controlee	Consciente	Inconsciente	Externe	Interne professionnelle	Interne personnelle	Succès	Echec	Non utilisée	Chaînée	A	B	C	
01:00																								
02:00																								
03:00																								
04:00	A décrit à quoi ressemble une vitrine	A	x				x	x		x		x				x	x				x			/
05:00																								
06:00	A donne les dimensions d'une toilette PMR (répond à la question de C)	A	x				x	x			x	x			x		x				x			/
07:00																								
08:00																								
09:00																								
10:00	C regarde les référenes papier	C		x		x		x		x		x		x			x						x	papier
11:00	A explique ce qu'est un accueil (répond à la question de C)	A	x			x		x			x	x				x	x				x			/
11:20	B explique ce qu'est un accueil (répond à la question de C)	B	x			x		x			x	x				x	x					x		/

Figure 3 : Grille d'observation des analogies émergeant lors des activités de conception.

Notons que lors de la récolte de données, nous avons veillé à nous placer suffisamment en retrait de l'espace de conception pour ne pas perturber les concepteurs ni influencer leurs activités.

Par ailleurs, deux caméras et micros sont placés dans l'espace et filment (son et image) les activités de conception. La première est identique à celle servant le magicien. La seconde, quant à elle, est placée dans l'angle de la pièce. Elle enregistre l'ensemble de la scène pour assurer une capture exhaustive des données et permettre de compléter la prise de note si besoin. Elle capture ainsi l'ensemble des interactions verbales, gestuelles et graphiques des concepteurs ainsi que, pour l'équipe concernée, les visuels apparaissant régulièrement sur l'écran de retour.

4. RESULTATS

Les résultats développés sont une analyse qualitative de la variabilité d'intégration des contenus des images d'inspiration envoyées en stimuli dans le projet. Dans ce cadre, nous procédons à la comparaison des types d'appariements et de leurs rôles et usages dans les activités de conception, d'une part dans l'équipe contrôle, aux sources papier, et d'autre part dans l'équipe aux stimuli analogiques.

4.1. Description de l'analogie non stimulée

Le déroulement du processus de conception de cette équipe s'organise en trois grandes séquences : phase de lecture, phase d'esquisse et phase de concrétisation.

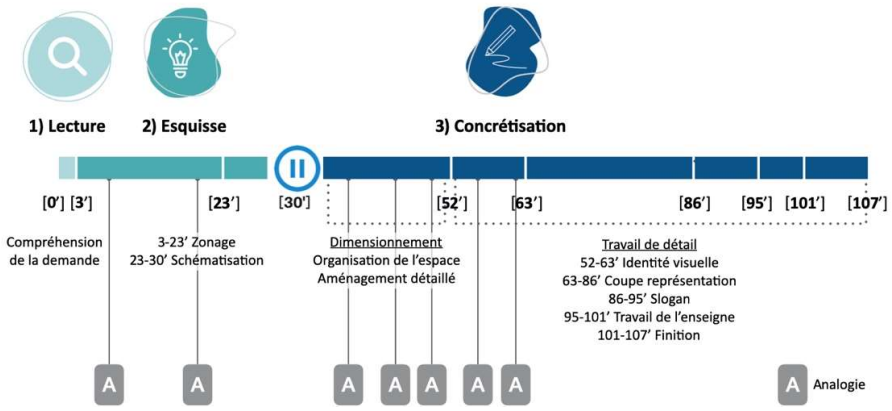


Figure 4 : Processus de conception général en situation non stimulée.

Dans la première phase, celle de lecture, les concepteurs travaillent individuellement à structurer le problème de conception. Par la suite, dans la seconde phase, les concepteurs émettent plusieurs idées d'organisation des locaux et en discutent ensemble puis les matérialisent en représentations externes de l'artefact. La majorité du temps de conception est alloué à l'élaboration de l'aménagement concret et précis des espaces. Deux concepteurs construisent cet aménagement sous forme d'artefact tandis que le troisième concepteur évalue les solutions proposées par ses compères, notamment au moyen de références. Cette configuration organisationnelle évolue, dans les dernières minutes, vers une production des documents finaux mis au net répartie individuellement.

Dans cette équipe, 7 analogies sont réalisées durant la conception, majoritairement durant les activités d'organisation et d'aménagement de l'espace. Tout d'abord en observant les activités de conception, nous avons distingué deux types d'analogies différentes. Certaines étaient implicites, lorsque l'acteur évaluait la pertinence d'une solution proposée par analogie comparative avec d'autres possibilités issues de sa mémoire ou de ses connaissances architecturales mais sans énoncer l'analogie. D'autres analogies étaient explicites, lorsque l'acteur évoquait oralement un souvenir d'élément similaire ou réalisait explicitement une comparaison. Nous ne considérons dans cette étude que les analogies explicites. En effet, les analogies implicites sont parfois détectables lors des observations mais nous ne pourrions en faire la liste exhaustive ni les caractériser selon les modalités du protocole employé. En outre, après des entretiens d'auto-confrontation avec les sujets concepteurs, ils étaient eux-mêmes dans l'incapacité d'affirmer si l'activité de génération ou d'évaluation de solution pointée résultait d'une analogie ou non.

Dans le processus de conception de cette équipe, l'analogie est identifiée comme un moteur de décision. En rentrant dans le détail des activités entourant l'apparition d'analogie, les analogies sont suivies d'actions de concrétisation consistant à agir sur l'artefact ou à poser des validations de choix de conception.

4.2. Description de l'analogie stimulée

Le déroulement du processus de conception de cette équipe s'organise en quatre séquences : l'appropriation du sujet d'énoncé, la conceptualisation des idées, la production des documents et la vérification.

Lors de la première étape, les acteurs prennent connaissance des contraintes du projet pour établir une ligne directrice. La deuxième étape consiste en l'élaboration des principes structurant la répartition des locaux. Elle voit apparaitre de nombreux débats au sein de l'équipe pour se mettre d'accord sur les idées proposées et quelques apartés entre 2 des 3 concepteurs pour détailler certains aménagements. La production des documents se fait ensuite de manière individuelle et se clôture par une vérification en groupe dans les cinq dernières minutes.

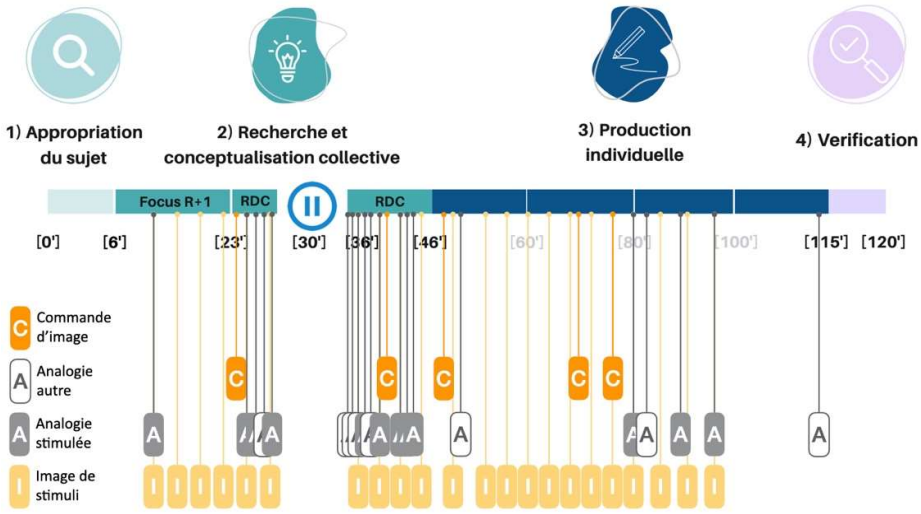


Figure 5 : Processus de conception général en situation stimulée.

Dans ce processus, nous indiquons à la figure ci-dessus les différents moments d'envoi des images de stimuli (jaune), les analogies faites sur base de ces images (gris), les autres analogies faites par mémoire (blanc) et les commandes d'images particulières passées (orange). Ce dernier point n'était pas prévu dans le protocole, mais quand les concepteurs ont compris que les images envoyées s'ajustaient à leur conception, ils ont tenté de passer des commandes orales pour demander des images spécifiques, traduisant ainsi une envie d'inspiration.

Dans cette équipe, 20 analogies sont réalisées durant la conception. Sur ces 20 analogies, 60% sont inspirées de l'image de stimuli tandis que 40% sont réalisées en dehors des images envoyées, sur base de la mémoire. Si nous regardons du côté de l'usage fait des images de stimuli, 52% d'entre elles sont mobilisées dans des analogies tandis que 20% sont regardée sans être employées et 28% ne sont pas consultées du tout.

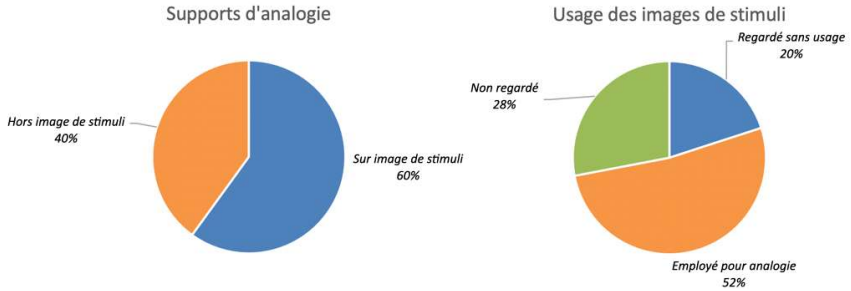


Figure 6 : Statistiques sur les analogies réalisées en situation stimulée.

Ici, en rentrant dans le détail des activités entourant l'apparition d'analogie, nous pouvons observer qu'elle est presque exclusivement mobilisée lors des discussions de conception.

4.3. Discussion comparative des activités de conception

Tout d'abord, nous remarquons que les analogies sont plus nombreuses et plus fréquentes dans l'équipe avec stimuli. Sur un corpus de deux équipes, nous ne pouvons pas émettre de conclusion. Néanmoins, en comparaison avec les autres éditions du séminaire de recherche, qui suivent le protocole de l'équipe non stimulée, un processus présentant 20 analogies est plutôt rare, tandis que 7 est une moyenne basse.

Ensuite, dans aucune des équipes, les analogies réalisées n'ont semblé structurer le processus. Dans les deux équipes, les supports d'analogie (qu'ils soient papier ou stimuli) ont été convoqués au service de l'activité de conception, et plus précisément, principalement au moment de l'aménagement

des espaces. Cette temporalité d'usage semble confirmer la théorie de Chupin (1998) selon laquelle il existe une temporalité opportune dans le processus de création pour convoquer les analogies. En revanche, le rôle de ces analogies varie : dans l'équipe stimulée, elles sont employées lors des discussions à des fins d'exemple, d'inspiration et parfois de validation, tandis que dans l'équipe contrôle, elles sont employées pour concrétiser l'objet et comme moteur de décision.

Si nous comparons maintenant les analogies effectuées selon les 7 critères d'observation, nous obtenons le graphique ci-dessous.

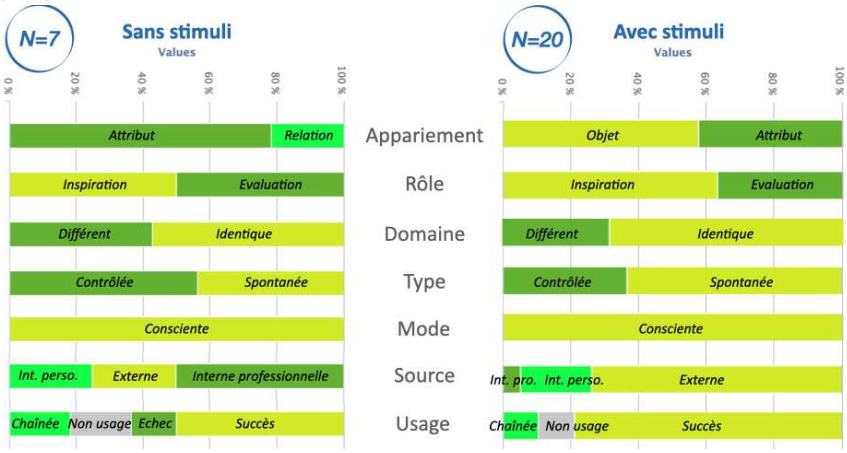


Fig. 7 – Processus de conception général en situation stimulée.

Nous constatons que l'appariement varie beaucoup selon les conditions de conception. Dans l'équipe de contrôle, là où les images d'inspiration sont génériques bien que ciblant le même type de programme architectural, ce sont principalement les attributs qui font l'objet d'analogies, c'est-à-dire que l'analogie porte sur une caractéristique inspirante. Dans l'équipe stimulée, là où les images envoyées sont adaptées à l'objet en cours de conception, c'est majoritairement l'objet entier qui est source de l'analogie, et parfois des attributs de cet objet. Une autre différence marquante réside dans les sources d'analogie. Dans l'équipe contrôle, les sources d'analogie sont plus souvent la mémoire des concepteurs (interne personnelle ou interne professionnelle) que les images papier fournies (externe), tandis que dans l'équipe stimulée, c'est l'inverse qui se produit. Finalement, les analogies faites en situation de conception stimulée sont plus souvent soldées par un succès, c'est à dire par une contribution au projet, que celles faites en situation non-stimulée.

5. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons interrogé les conséquences de la pénétration du stimuli des analogies via une instrumentation technologique intelligente dans les pratiques de conception architecturale. Pour étudier cela, nous avons réalisé une expérimentation contrôlée sur deux corpus d'activités de conception collaborative. Le premier présentant une conception collaborative traditionnelle sert de groupe contrôle. Le second présente la même tâche de conception collaborative mais instrumentée par un magicien d'oz pour stimuler les analogies.

Nous avons constaté que dans aucune des équipes les analogies réalisées n'ont structuré le processus. Dans les deux équipes, les supports d'analogie (papier comme stimuli) ont été convoqués au service de la conception, et principalement au moment de l'aménagement des espaces. En termes de processus cognitif, l'équipe contrôle a mobilisé les analogies, pour partie de leurs caractéristiques, comme moteur de décision tandis que l'équipe stimulée a mobilisé les analogies, pour l'objet entier, comme inspiration ou illustration lors des discussions de conception. En outre, les images d'inspiration génériques papier ont moins été employées pour analogie que des souvenirs de mémoire, tandis que les images envoyées par stimuli ont plus été employées par les concepteurs que leur mémoire.

Finalement, les analogies faites en situation de conception stimulée sont plus souvent soldées par un succès, c'est à dire par une contribution au projet, que celles faites en situation non-stimulée.

En conclusion, ces résultats montrent que stimuler le raisonnement analogique en proposant au(x) concepteur(s) des images d'inspiration adaptées à l'objet en cours de conception constitue une plus-value, sans risquer de contraindre ni déterminer le processus de conception.

6. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les étudiants du cours d'APC de l'ULiège pour leur participation active à cette capsule de conception et au séminaire de recherche ainsi que la chercheuse et architecte ayant tenu le rôle du Magicien d'Oz. Merci également au F.R.S.-F.N.R.S. pour le financement de cette recherche.

7. BIBLIOGRAPHIE

Baudoux, G., & Leclercq, P. (en soumission). Experimenting with a New Proposal for Digital Design Instrumentation: A Wizard of Oz method to study its impact on activity. Paper for the eCAADe'23 International Conference, Gratz, Autriche.

Ben Rajeb, S., & Leclercq, P. (2015). Instrumented analysis method for collaboration activities. Proceedings of the Fifth International Conference on Advanced Collaborative Networks, Systems and Applications, COLLA 2015, San Julian, Malta

Ben Rajeb, S. & Leclercq, P. (2016). Analysis of Collaborative Design through Action Research: Methodology and Tools. In IARIA Journals, International Journal on Advances in Intelligent Systems, vol 9 no 1 & 2, http://www.iariajournals.org/intelligent_systems/, pp.199-212. Browne, J. T. (2019). Wizard of oz prototyping for machine learning experiences. In Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-6.

Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité : de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. Le travail humain, 72(1), 5-22.

Bonnardel, N., & Marmèche, E. (2005). Towards supporting evocation processes in creative design: A cognitive approach. International Journal of Human-Computer Studies, 63, 422-435.

Bonnardel, N. & Zenasni, F. (2010). The impact of technology on creativity in design: An enhancement? Creativity and Innovation Management, 19(2), 180-191.

Casakin, H., & Goldschmidt, G. (1999). Expertise and the use of visual analogy: implications for design education, Design Studies, 20, 153–175.

Chupin, J.-P. (1998). Le projet analogue, les phases analogiques du projet d'architecture en situation pédagogique. National Library of Canada.

Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2001). Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. Paper presented at the ÉPIQUE 2001, Actes des journées d'étude en psychologie ergonomique.

Didier, J., & Bonnardel, N. (2020). Activités de conception créatives : nouvelles perspectives dans la formation des enseignants. UTBM.

Leclercq, P., & Heylighen, A. (2002). 5,8 Analogies per hour. A designer's view on analogical reasoning. Paper presented at the AID'02 Artificial intelligence in design.

Riek, L. D. (2012). Wizard of oz studies in hri: a systematic review and new reporting guidelines. Journal of Human-Robot Interaction, 1(1), 119-136.

Safin, S. (2011). Processus d'externalisation graphique dans les activités cognitives complexes : le cas de l'esquisse numérique en conception architecturale individuelle et collective. PhD Thesis, University of Liège, Belgium.

CL : *Anticiper les transformations possibles de l'activité par le Design-Fiction : la simulation (science) fictionnelle de l'activité future*

Cynthia Bagousse, Thomas Arciszewski, Grégory Lo Monaco & Nathalie Bonnardel

PsyCLÉ – Aix-Marseille Université, cynthia.bagousse@univ-amu.fr

PsyCLÉ – Aix-Marseille Université, thomas.arciszewski@univ-amu.fr

ADEF – Aix-Marseille Université, gregory.lo-monaco@univ-amu.fr

PsyCLÉ – Aix-Marseille Université, nathalie.bonnardel@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

L'ergonomie prospective vise à anticiper de futurs procédés, produits et services qui seront utilisés dans des situations de la vie professionnelle, sociale ou domestique (Brangier & Robert, 2014). Dans cet exercice d'anticipation, les ergonomes se heurtent au "paradoxe de l'ergonomie de conception" (i.e., transformer une situation qui ne peut être observée puisqu'elle n'existe pas encore), les engageant dans un exercice imaginatif sollicitant à la fois la pensée future et la créativité. Dès lors, deux grandes difficultés sont identifiées : la tendance à envisager des futurs conventionnels et l'effet de fixation. Dans un travail réflexif en psychologie ergonomique et en sciences de l'éducation mené pour pallier ces difficultés, nous avançons que la méthode prospective du design-fiction, est un moyen d'outiller l'exercice de simulation de l'activité future, et de faciliter, voire développer, la cognition créative prospective. Deux études, l'une exploratoire, l'autre empirique, ont été conduites auprès d'étudiants en psychologie et en ergonomie, afin de mettre en pratique et d'analyser la portée d'un narratif de science-fiction sur la cognition créative prospective et sur l'engagement dans la tâche de simulation d'activité future.

MOTS-CLÉS :

Design-fiction, ergonomie prospective, simulation, activité future, cognition créative prospective.

1. LES OBSTACLES À LA SIMULATION D'ACTIVITÉ FUTURE

L'anticipation de futurs procédés, produits et services qui seront utilisés dans des situations de la vie professionnelle, sociale ou domestique, engage les ergonomes dans un exercice prospectif et imaginatif sollicitant à la fois la pensée future - capacité à imaginer et pré-expérimenter des possibilités futures (Atance & O'Neill, 2001; Hallford & D'Argembeau, 2021) - et la créativité - capacité à produire une idée novatrice et adaptée à la situation (Bonnardel, 2002; Lubart et al., 2015). En ergonomie prospective (Brangier & Robert, 2014), cet exercice est abordé en prenant en compte l'activité future sur la base d'une simulation de l'activité invitant à penser les transformations possibles (Daniellou, 2004; Duarte & Lima, 2012). Lors de l'exercice de simulation, les ergonomes se heurtent à deux grandes difficultés. La première est marquée par la tendance à envisager, de manière intuitive, des futurs dits *conventionnels*. Les futurs conventionnels se nourrissent des connaissances et des expériences. Ils reflètent une compréhension de la façon dont le monde actuel fonctionne et de ce qui est peut-être considéré comme raisonnable (Voros, 2006). Ces futurs restreignent le champ des futurs *potentiels*,

ces derniers s'éloignant des futurs probables et préférables pour s'étendre jusqu'aux limites du possible. Les futurs potentiels permettent d'envisager de grands changements et leurs impacts sur l'activité humaine. La seconde difficulté s'inscrit dans le "paradoxe de l'ergonomie de conception", i.e., la mise en œuvre d'une démarche de conception centrée utilisateur/activité au sein d'une situation qui ne peut être observable (puisqu'elle n'existe pas encore) et dans un contexte sociotechnique inconnu et incertain. Là encore le potentiel imaginatif des ergonomes peut être freiné par l'effet de fixation, i.e., l'utilisation de connaissances facilement accessibles en mémoire qui incitent à rester fixés sur des solutions peu originales (Chrysikou & Weisberg, 2005).

Dès lors, comment guider l'exercice de simulation de l'activité future vers l'exploration et la simulation de futurs potentiels ? Comment permettre aux ergonomes d'améliorer leur potentiel imaginatif ? Basée sur deux études, l'une exploratoire, l'autre empirique, cette communication propose une discussion autour des pratiques de conception orientées vers la prospective et, notamment, sur le design-fiction afin de sonder des futurs alternatifs (Colin et al., 2021). Nous avons choisi deux axes d'observation : l'un portant sur la dynamique de l'activité dialogique, l'autre sur l'engagement cognitif lors d'exercices de simulation d'activité future. Ces éléments nous amèneront à discuter l'intérêt de développer les capacités prospectives, créatives et critiques chez les ergonomes pour permettre l'émergence de nouvelles possibilités d'action/transformation dans l'activité future.

2. MILIEU D'IMPLANTATION ET MÉTHODES

Notre terrain d'observation se situe au sein du cursus universitaire en psychologie et ergonomie d'Aix-Marseille Université. Nous avons pu observer *in situ* l'activité collaborative (dans des groupes de trois d'étudiants) lors de tâches de conception de créativité prospective. Pour élaborer ces activités, nous avons combiné l'approche de simulation d'activité future et le design-fiction dans le but de favoriser l'exploration des futurs potentiels et de faciliter la cognition créative prospective.

2.1. L'approche de l'activité de simulation

L'activité de simulation projette les participants dans une situation future, à l'aide d'un support de simulation pour « faire jouer » des activités futures probables, et se formalise sous la forme de scénarios (Van Belleghem, 2018). L'exercice de simulation de l'activité future peut être considéré comme une forme particulière de convocation de l'activité, au sein de laquelle différentes formes d'activités peuvent être observées : (1) *l'activité cible*, c'est-à-dire l'activité future, celle que l'on cherche à rendre visible ; (2) *l'activité de simulation*, celle développée par les participants en utilisant un avatar et un support de simulation ; (3) *l'activité simulée*, prenant la forme d'un résultat observable dans laquelle « l'activité » est implémentée ; et (4) *l'activité dialogique*, c'est-à-dire les négociations sur les choix de conception au regard de l'activité simulée, émergeant des interactions entre les participants (Van Belleghem, 2016).

2.2. La méthode du design-fiction

Le design-fiction est une méthode prospective qui manie les imaginaires de la science-fiction et utilise un artefact diégétique (i.e., des objets du monde de la fiction ayant pour but de mettre en résonance la fiction pour renforcer l'immersion fictionnelle et stimuler l'activité inférentielle) afin d'explorer des futurs alternatifs (Bleecker, 2009). Profitant de la valeur cognitive de la science-fiction, composée par l'*estragement*, processus par lequel une chose familière devient étrange, et du *novum,* élément ou propriété du monde de fiction qui s'écarte des règles de fonctionnement du monde de référence (Suvin, 1979), le design-fiction positionne l'espace fictionnel de conception dans un avenir lointain, tant sur le plan temporel que spatial ou conceptuel.

3. LES ÉTUDES

Dans l'objectif de mener une réflexion globale sur l'utilisation d'un narratif de science-fiction lors de simulation d'une activité future, nous avons conduit deux études : l'une de nature exploratoire dans laquelle une tâche de conception de l'habitation en 2050 était envisagée, l'autre empirique portant sur les transformations possibles de la communication en 2050. Cette deuxième thématique a été inspirée par les évolutions du travail contemporain qui affinent sans cesse les frontières entre la sphère professionnelle et la sphère privée, favorisant le débordement d'une sphère à l'autre (Van Belleghem & Barthe, 2016). Cette thématique nous a paru correspondre à une tendance actuelle et partagée par notre population cible (i.e., étudiants en psychologie et en ergonomie).

3.1. Etude exploratoire

3.1.1. Participants et procédure

L'objectif de l'étude exploratoire était d'éclairer les relations entre des variables inter-individuelles telles que les traits de personnalité (ex : curiosité envers l'avenir, ouverture d'esprit) et la perspective temporelle (ex : orientation, anxiété et optimisme envers l'avenir), au regard de l'utilisation d'un narratif de science-fiction servant à ancrer le contexte de d'activité future envisagée. L'étude a été menée auprès de 18 étudiants en première année de Master Ergonomie à Aix-Marseille Université, répartis en 6 groupes de 3 personnes et placés dans deux conditions expérimentales (avec une consigne du problème formulée de manière prospective ou une consigne formulée dans un style littéraire de science-fiction). Chaque groupe s'est engagé dans un travail collectif structuré en deux phases. Dans la première, les participants ont envisagé de nombreuses caractéristiques de l'habitation, en faisant varier l'horizon temporel avec, tout d'abord, la prise en compte d'un horizon temporel présent (en 2022, date de la réalisation de l'étude), puis la prise en considération d'un horizon temporel lointain (en 2050). Dans la seconde phase, les participants ont élaboré un scénario d'usage et l'ont implémenté au moyen d'une maquette en Lego® Serious Play@. A l'issue de ces tâches, les participants ont rempli un questionnaire en ligne permettant de mesurer certaines variables inter-individuelles (i.e., personnalité et perspectives temporelles) et du profil créatif de chaque participant.

3.1.2. Mesures

La créativité | Les idées émises lors de la première phase ont été évaluées selon un critère de perspicacité, un indice d'éloignement et un critère d'unicité idéationnelle. Les scénarios d'usage ont été évalués sur les critères de perspicacité et d'éloignement. L'évaluation sur la base de ces deux critères a été effectuée par deux juges, dont l'analyse du consensus inter-juges quant à la « valeur » créative de la production était satisfaisante (r = .37, p <.001). **Personnalité |** Le trait d'*ouverture d'esprit*, considéré comme propice à la créativité, et (2) l'*esprit consciencieux,* lié à la capacité à planifier et exécuter les tâches, ont été mesurés grâce à l'inventaire de personnalité du Big Five Inventory à 10 items. La *curiosité envers l'avenir* a été mesurée sur la base d'une échelle de curiosité épistémique à laquelle des notions temporelles "passé-futur" ont été ajoutées. **Perspective temporelle |** Les quatre dimensions ont été mesurées, à savoir : l'extension temporelle, l'orientation temporelle, la relation temporelle, et l'attitude temporelle à travers l'anxiété et l'attitude positive vers l'avenir/le passé.

3.1.3. Résultats

Les résultats revêtent un caractère exploratoire du fait du nombre restreint de participants et visent à éclairer les éléments théoriques proposés et à ouvrir la réflexion sur les analyses d'activités présentées par la suite. Ils suggèrent que (**1**) la créativité, telle que mesurée dans cette étude, n'est en lien avec aucune des dimensions de la personnalité, pas plus qu'elle n'est liée à la manière de percevoir le temps. En revanche, le rapport au temps s'est révélé largement lié à la personnalité, en particulier

au névrosisme, au caractère consciencieux et à l'ouverture d'esprit ; (**2**) la perspective temporelle distante a des effets bénéfiques sur les performances créatives dans un contexte futuriste particulièrement pour les groupes ayant obtenu des scores de créativité plus faibles lors de la tâche sans amorçage temporel ; (**3**) la manipulation science-fiction ne semble pas affecter les perspectives temporelles, confirmant la littérature décrivant la perspective temporelle comme une dimension individuelle relativement stable ; enfin, (**4**) la manipulation science-fiction ne semble pas améliorer les performances créatives chez les groupes déjà créatifs, reflétant une sorte d'effet "plancher".

3.1.4. Conclusion

Ces résultats font écho aux études de Förster et al. (2004) qui soulignent que la perspective temporelle lointaine facilite l'interprétation abstraite du problème et améliore la génération créative. C'est en particulier le cas lors d'une tâche de créativité présentée à distance par rapport à la même tâche présentée à proximité temporelle. Cependant, un effet « plancher » pour les groupes déjà créatifs dans l'horizon temporel présent a été constaté dans notre étude. Nous émettons deux interprétations hypothétiques. Selon l'une, cet effet plancher pourrait résulter de l'exposition répétée au problème (i.e., le fait d'avoir à effectuer la même tâche avec une variation de l'horizon temporel) qui conduirait à un désengagement cognitif. Une autre interprétation serait que l'effet plancher résulterait d'un effet de fixation si les participants sont restés fixé sur les idées émises lors de la première tâche sans parvenir à les dépasser pour générer des idées plus créatives. Cette seconde interprétation semble conforter l'idée que la nature de la connaissance activée préalablement à la résolution de problème est déterminante pour la résolution de problèmes créatifs (Camarda & Cassotti, 2020). Nos interprétations hypothétiques nous amènent à préciser nos questions de recherche en nous intéressant plus précisément à l'engagement cognitif et l'effet de fixation lors d'un exercice de simulation d'activité future.

3.2. Etude empirique

3.2.1. Participants et procédure

Dans le prolongement de travaux antérieurs (Bonnardel, 2009; Bonnardel & Marmèche, 2004; Camarda & Cassotti, 2020), nous avons testé la nature des sources évoquées en proposant des exemples de nature prospective ou de nature science-fictionnelle, afin de déterminer si les concepteurs élargissent ou non leur espace de recherche d'idées et parviennent à des solutions de conception plus créatives. Ainsi, les mesures de cette étude portent sur l'analyse de l'effet de l'utilisation d'un narratif et d'exemples de science-fiction sur la dynamique des échanges (Burkhardt et al., 2009) reliée aux performances créatives, reflétées par (i) la génération de transformations de l'activité (i.e., processus de résolution de problème) et (ii) les effets éventuellement inspirants ou au contraire réducteurs du narratif et des exemples de science-fiction sur l'ouverture d'un espace réflexif et critique (i.e., processus d'argumentation). Puis, les performances créatives ont été mises en lien avec (iii) l'engagement cognitif, affectif et comportemental de la tâche de simulation d'activité future, évaluée en se basant sur le concept du Flow (Csikszentmihalyi & Patton, 1997).

L'étude a été menée auprès de 18 étudiants en psychologie et en ergonomie à Aix-Marseille Université, répartis en 6 groupes de 3 personnes et placés dans trois conditions expérimentales : (1) une condition « futur non-science-fiction » proposant une présentation du contexte à l'aide d'un narratif et d'exemples de manière prospective ; (2) une condition « futur science-fiction » à l'aide d'un narratif et d'exemples formulés dans un style littéraire de science-fiction ; (3) une condition contrôle sans narratif et sans exemple. Chaque groupe s'est engagé dans un travail collectif structuré en trois phases. Dans la première, les participants ont été invités à partager un contexte de connaissances mutuelles en vue de la construction d'un référentiel commun (Burkhardt et al., 2009 ; Darses & Falzon, 1994). En l'occurrence, il s'agissait ici des échanges possibles en 2023 et, plus particulièrement, d'une

réflexion portant sur les acteurs, les objets, les formes et les comportements de communication. Dans une deuxième phase, chaque groupe a été placé dans l'une des trois conditions, afin de réaliser une tâche de créativité prospective portant sur les échanges possibles en 2050, en s'intéressant aux nouveaux acteurs, aux nouveaux objets, aux nouvelles formes et aux nouveaux comportements de communication possibles en 2050. Enfin, dans la troisième phase, les participants ont élaboré un scénario d'usage simulé, représenté et "incarné" à l'aide de personnages et de briques de construction Lego®. A l'issue de ces trois tâches, les participants ont rempli un questionnaire en ligne portant sur leurs niveaux de connaissances en science-fiction et sur leur engagement cognitif. L'activité dialogique de la tâche de créativité a fait l'objet d'une modélisation sous un format de chroniques d'activités en vue d'une analyse cognitive et ergonomique.

3.2.2. Mesures

L'activité dialogique | Les activités dialogiques modélisées ont fait l'objet d'observations systématiques selon trois dimensions spécifiques (Burkhardt et al., 2009), à savoir : (**1**) un indicateur de fluidité de la collaboration, correspondant au nombre de prises de parole des participants ; (**2**) deux indicateurs d'échanges pour la résolution de problème : (2.1) l'un correspondant aux idées émises, destinées à apporter des solutions, (2.2) l'autre correspondant aux échanges approfondis mettant en lumière les objectifs de conception soutenus ; et (**3**) un indicateur d'échanges pour l'argumentation et la prise de décision, correspondant aux échanges argumentatifs soulevant des questionnements sur les idées émises. **L'engagement cognitif |** Il a été évalué, d'une part, sur la base de l'échelle de flow en éducation (EduFlow-2) (Heutte et al., 2021) incluant 4 sous-échelles : contrôle cognitif, immersion et altération de la perception du temps, absence de préoccupation à propos du soi, et l'expérience autotélique. Et d'autre part, par des questions portant sur l'activité de simulation en elle-même, en termes de stimulation, d'amusement et de valence d'émotions. **La créativité |** Les idées émises (i.e., échanges possibles en 2050) ont été évaluées selon un critère de perspicacité, un indice d'éloignement, un critère d'unicité idéationnelle, et un critère d'élaboration (i.e., le nombre de mots utilisés pour proposer l'idée). L'évaluation en fonction des critères de perspicacité et d'éloignement a été effectuées par deux juges, dont l'analyse du consensus inter-juges quant à la « valeur » créative de la production était satisfaisante (r = .28, p<.05).

3.2.3. Résultats

L'analyse des activités dialogiques | Les analyses systématiques in-situ n'ont révélé aucune différence entre les conditions expérimentales concernant l'*indice de fluidité de la collaboration* (M = 319 ; ET = 69,80). Par ailleurs, quelle que soit la condition expérimentale, nous observons que les *échanges pour la résolution de problèmes* sont plus nombreux (60,82%) que les échanges pour l'argumentation (21,74%) ou les échanges divers (principalement destinés à l'activité de maquettage). L'indicateur d'*échanges pour l'argumentation et la prise de décision* est le seul à différencier les trois conditions. Nous observons plus *d'échanges pour l'argumentation et la prise de décision* dans la condition "futur avec science-fiction".

Dans le cadre d'une analyse cognitive et ergonomique de l'activité dialogique, l'effet des conditions expérimentales (contrôle, futur non-science-fiction et futur science-fiction) sur la *créativité* a été mesuré. En testant le même modèle que précédemment, nos conditions montrent un effet significatif sur l'élaboration des solutions créatives ($F(2,58) = 3.73$, df = 2, $p < .05$), la condition "futur avec science-fiction" se distinguant des deux autres conditions (contrôle et futur non-science-fiction), sans différence significative entre ces dernières (M = 52.4 *vs*. M = 32 et M = 32.5 respectivement). En ce qui concerne l'*indice d'élaboration*, la condition "futur science-fiction" constitue la meilleure configuration pour le développement des idées en ce sens que les participants ont davantage détaillé leurs idées, notamment par des exemples, ce qui leur a permis d'affiner leurs propositions.

En revanche, les indices de perspicacité, d'éloignement et d'unicité ne semblent pas donner lieu à des différences significatives entre les conditions.

L'analyse de l'engagement cognitif dans les activités de simulation | Un score composite de créativité a été calculé afin d'analyser les corrélations entre la créativité et l'engagement cognitif. Les corrélations obtenues montrent que la créativité est liée négativement à la dimension *absence de préoccupation du soi*, autrement dit plus les participants craignent le jugement des autres, moins ils sont créatifs (r = -.38, p < .01). Plus spécifiquement pour cette étude, la créativité dans le cas du design-fiction (i.e., condition futur « science-fiction »), est liée à l'*expertise dans le domaine*, i.e., la connaissance de la science-fiction par les participants (r = -.34, p < .01), ce qui est cohérent avec les rôles « r*évélateur* » et « *modulateur* » de l'expertise proposés par Amalberti (2009). Cette *expertise* est également liée à l'*expérience autotélique*, qui permet de ressentir beaucoup de plaisir au cours d'une activité dans laquelle on perçoit que l'on progresse, ainsi qu'à l'impression de réaliser une *activité stimulante* (r = -.42 et r = .44, p < .001). Cela suggère que le design-fiction tend à rendre l'activité plus passionnante pour ceux qui apprécient déjà la science-fiction. La capacité d'*immersion et altération de la perception du temps* est également liée à l'*expertise* (r = -.33, p < .01) et au *contrôle cognitif* (r = -.45, p < .01).

L'effet des conditions expérimentales (contrôle, futur non-science-fiction et futur science-fiction) sur la *créativité* a été analysé en contrôlant l'*expertise* et la capacité d'*immersion et altération de la perception du temps* (variables additives) et en mettant les groupes de participants toujours en variable aléatoire du fait des idées. L'effet de la condition est significatif ($F(2,57) = 3.43$, df = 2, p < .05) montrant que la condition "futur science-fiction" constitue la meilleure configuration (toujours dans le respect des limites de notre échantillon) pour amorcer un travail créatif. Ce résultat valide notre hypothèse selon laquelle les propositions de transformations de l'activité sont plus créatives pour les groupes ayant des scores d'engagement élevés et qui sont placés dans la condition présentant un narratif et des exemples de science-fiction, i.e., dans une approche de design-fiction.

3.2.4. Conclusion

Cette étude tend à montrer que le design-fiction favorise la pensée créative en permettant d'ouvrir les champs des possibles mais également permet d'activer la pensée critique. Celle-ci fait référence à un « type de pensée caractérisé par le fait qu'il s'agit d'une alternative à la façon habituelle de penser » (Valenzuela et al., 2017, p. 826).

Cela peut s'expliquer par le paradoxe de la science-fiction qui, d'une part, agit comme une contrainte de l'espace fictionnel de conception nécessitant plus échanges destinés à une synchronisation cognitive des nouvelles règles de fonctionnement du monde de référence (Darses & Falzon, 1994). Au cours de ces échanges, les exemples proposés dans le narratif de science-fiction sont discutés et conduisent à explorer des thématiques parallèles, telles que le mensonge, l'intimité, l'éthique, etc. D'autre part, le paradoxe de la science-fiction agit comme une ouverture des possibles en profitant de l'*estrangement* et du *novum* des situations imaginées, conduisant les participants à mener des réflexions sur l'utilité de la proposition (à qui pourrait-elle servir ?) en s'appropriant l'artefact fictionnel. Cette appropriation conduit à suspendre l'incrédibilité de la fiction et à stimuler l'activité inférentielle pour ainsi explorer des futurs alternatifs.

L'utilisation de la démarche du design-fiction, combiné à l'approche par simulation d'activité future, permettrait de profiter du pouvoir du genre littéraire de la science-fiction pour décontextualiser le problème et favoriser un réengagement de nos capacités créatives et prospectives. La valeur cognitive particulière de la littérature de la science-fiction menant à des tests imaginatifs et des tests d'hypothèses sous la forme "et si…" (Rumpala, 2018) peut, à notre avis, aider à surmonter "le paradoxe de l'ergonomie de conception" en élargissant "l'espace des formes possibles d'activité

future" (Daniellou, 2004), et en donnant la possibilité d'agir sur le contexte prescriptif pour envisager l'évolution des besoins et des comportements d'actions.

4. DISCUSSION

Selon nous, la démarche du design-fiction et l'activité de simulation d'activité future ont pour point commun la capacité de mise en situation d'acteurs et d'activités dans une réalité potentielle projetée. Néanmoins, elles semblent complémentaires au sens où le design-fiction, par sa proposition d'artefacts et d'environnements fictifs du monde réel, peut être utilisé comme une mise en contexte d'une situation projetée. Tandis que l'approche par simulation d'une activité future, convoquant différentes formes d'activités, offre un support d'idéation et de verbatims, facilitant les interactions potentielles dans la situation projetée.

L'alliance de l'approche de la simulation d'activité et le design-fiction pourrait également assurer un rôle éducatif sur le modèle des études de Béguin & Pastré (2002) ou de Dubey (2001). Le design-fiction offre la particularité de nourrir les imaginaires des futurs potentiels (Rumpala, 2015), ce qui peut être au cœur d'un travail éducatif comme le montrent Chouteau et Nguyen (2020) dans le cadre de la formation des ingénieurs. Dans une réflexion psycho-ergonomique et ergonomique, le design-fiction peut donner lieu à la proposition de pratiques de conception « orientées vers la prospective » intéressante d'un point de vue pédagogique. En effet, le design-fiction semble contribuer à relever le défi de nombreux référentiels pédagogiques mondiaux, tels que ceux de l'OCDE (2019) qui définissent les "4C" - i.e., la créativité, la pensée critique, la collaboration et la communication - comme des compétences nécessaires aux exercices d'anticipation et d'adaptation. Ainsi, comme l'ont montré nos études, le design-fiction met en œuvre des espaces où les 4C sont de fait sollicités. Aussi, dans une perspective d'ergonomie prospective permettant de mieux maîtriser les processus d'approche de l'activité future probable, le design-fiction semble définir les contours d'un outil pédagogique et expérimental, offrant des expériences de pensée pour aborder, voire devancer, les transitions majeures qui touchent tous les domaines de l'activité humaine, notamment professionnelle.

5. RÉFÉRENCES

Amalberti, R. (2009). *La conduite de systèmes à risques*. Presses Universitaires de France.

Atance, C. M., & O'Neill, D. K. (2001). Episodic future thinking. *Trends in Cognitive Sciences*, *5*(12), 533-539. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01804-0

Béguin, P., & Pastré, P. (2002). *Working, learning, interacting through simulation* (S. Bagnara, S. Pozzi, A. Rizzo, & P. Wright, Éds.; p. 5-13).

Bleecker, J. (2009). *Design Fiction : From Props To Prototypes*.

Bonnardel. (2009). Activités de conception et créativité : De l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. *Le travail humain*, *72*(1), 5-22. https://doi.org/10.3917/th.721.0005

Bonnardel, N. (2002). Entrée : Créativité. In G. Tiberghien (Éd.), *Dictionnaire des sciences cognitives* (p. 95-97). Armand Colin.

Bonnardel, N., & Marmeche, E. (2004). Evocation Processes by Novice and Expert Designers : Towards Stimulating Analogical Thinking. *Creativity and Innovation Management*, *13*(3), 176-186. https://doi.org/10.1111/j.0963-1690.2004.00307.x

Brangier, É., & Robert, J.-M. (2014). L'ergonomie prospective : Fondements et enjeux. *Le travail humain*, *77*(1), 1. https://doi.org/10.3917/th.771.0001

Burkhardt, J.-M., Détienne, F., Hébert, A.-M., Perron, L., Safin, S., & Leclercq, P. (2009). An approach to assess the quality of collaboration in technology-mediated design situations. *In ECCE 2009 : European Conference on Cognitive Ergonomics*.

Camarda, A., & Cassotti, M. (2020). Chapitre 8. La créativité. In *Neurosciences cognitives développementales* (De Boeck supérieur, p. 252-280). https://doi-org.lama.univ-amu.fr/10.3917/dbu.poire.2020.01.0252"

Chouteau, M., & Nguyen, C. (2023). Comment la fiction permet d'accéder à l'éthique et au politique ? Le cas des séries télé en école d'ingénieurs. Technologie et innovation, 8(2). https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2023.0951

Chrysikou, E. G., & Weisberg, R. W. (2005). Following the Wrong Footsteps : Fixation Effects of Pictorial Examples in a Design Problem-Solving Task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *31*(5), 1134-1148. https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.5.1134

Colin, C., Martin, A., Bonneviot, F., & Brangier, E. (2021). Unravelling future thinking : A valuable concept for prospective ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1-27. https://doi.org/10.1080/1463922X.2021.1943045

Csikszentmihalyi, M., & Patton, J. D. (1997). LE BONHEUR, L'EXPÉRIENCE OPTIMALE ET LES VALEURS SPIRITUELLES : UNE ÉTUDE EMPIRIQUE AUPRÈS D'ADOLESCENTS. *Revue québécoise de psychologie*, *18*(2).

Daniellou, F. (2004). 21. L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. In *Ergonomie* (p. 359-373). Presses Universitaires de France. https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0359

Darses, F., & Falzon, P. (1994). *LA CONCEPTION COLLECTIVE : UNE APPROCHE DE L'ERGONOMIE COGNITIVE*.

Duarte, F., & Lima, F. (2012). Anticiper l'activité par les configurations d'usage : Proposition méthodologique pour conduite de projet. *Activites*, *09*(2). https://doi.org/10.4000/activites.314

Dubey, G. (2001). La simulation à l'épreuve du lien social. *Le travail humain*, *64*(1), 3-28. https://doi.org/10.3917/th.641.0003

Förster, J., Friedman, R. S., & Liberman, N. (2004). Temporal construal effects on abstract and concrete thinking : Consequences for insight and creative cognition. *Journal of Personality and Social Psychology*, *87*(2), 177-189. https://doi.org/10.1037/0022-3514.87.2.177

Hallford, D. J., & D'Argembeau, A. (2021). Why We Imagine Our Future : Introducing the Functions of Future Thinking Scale (FoFTS). *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, *44*, 376-395. https://doi.org/10.1007/s10862-021-09910-2

Heutte, J., Fenouillet, F., Martin-Krumm, C., Gute, G., Raes, A., Gute, D., Bachelet, R., & Csikszentmihalyi, M. (2021). Optimal Experience in Adult Learning : Conception and Validation of the Flow in Education Scale (EduFlow-2). *Frontiers in Psychology*, *12*, 828027. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.828027

Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjman, S., & Zenasni, F. (2015). *Psychologie de la créativité*. Armand Colin. http://res.banq.qc.ca/login?url=http://www.biblioaccess.com/31/Catalog/product/810349

OCDE. (2019). *Stratégie 2019 de l'OCDE sur les compétences : Des compétences pour construire un avenir meilleur*. OECD. https://doi.org/10.1787/9789264313859-fr

Rumpala, Y. (2018). Hors des décombres du monde : Écologie, science-fiction et éthique du futur. Champ Vallon.

Suvin, D. (1979). Metamorphoses of science fiction : On the poetics and history of a literary genre. Yale University Press.

Valenzuela, J., Nieto, A. M., & Saiz, C. (2017). Critical Thinking Motivational Scale : A contribution to the study of relationship between critical thinking and motivation. *Electronic Journal of Research in Education Psychology*, *9*(24). https://doi.org/10.25115/ejrep.v9i24.1475

Van Belleghem, L. (2018). La simulation de l'activité en conception ergonomique : Acquis et perspectives. *Activités*, *15*(1), Article 1. https://doi.org/10.4000/activites.3129

Van Belleghem, L. (2016). La convocation de l'activité : Une méthode d'analyse au service de la discussion. *Le travail humain*, *79*, 285-306.

Voros, J. (2006). Introducing a classification framework for prospective methods. Foresight, 8(2), 43-56. https://doi.org/10.1108/14636680610656174

CC : *Analyse du domaine de travail et analyse ergonomique de l'activité pour évaluer différentes propositions de conception : application à la définition d'une cabine de conduite ferroviaire*

Cécile I. BERNARD, Christopher PAGLIA

Institut de Recherche Technologique Railenium, cecile.bernard@railenium.eu

Institut de Recherche Technologique Railenium, christopher.paglia@railenium.eu

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet DRAISY, qui vise à la conception de nouvelles solutions de mobilités ferroviaires plus frugales et écologiques pour les lignes de desserte fine du territoire, l'IRT Railenium s'intéresse à la définition de l'emplacement de la cabine de conduite et sa conception en apportant un regard orienté sur l'ergonomie et les facteurs organisationnels et humains. Afin de soutenir le conducteur dans la mise en place de sa future activité, il est indispensable de prendre en compte les exigences et contraintes de l'activité de conduite dans le processus de conception d'un système complexe qui va être intégralement repensé. Dans cette contribution nous proposons un cadre destiné à évaluer différentes solutions de conception sur la base de l'utilisation conjointe de l'analyse cognitive du travail (CWA), et de l'analyse ergonomique du travail (AET). L'objectif est d'apporter des éléments permettant de nourrir la discussion autour du choix du positionnement de la cabine qui tiennent compte à la fois des contraintes fonctionnelles du futur système DRAISY et des exigences propres à l'activité de conduite.

MOTS-CLÉS

Analyse ergonomique du travail (AET), Analyse cognitive du travail (CWA), Système ferroviaire, Conception, Cabine de conduite

1. INTRODUCTION

Face au défi écologique et à la question de la décarbonation des mobilités, le transport ferroviaire se réinvente. La SNCF et ses partenaires Railenium, LOHR, GCK Battery, Stations-e proposent de développer de nouvelles solutions de mobilité électriques destinées à desservir plus finement les territoires ruraux et réduire les coûts d'exploitation et de maintenance. Léger, modulaire et frugal, le projet DRAISY s'inscrit dans cette dynamique.

Dans le cadre de la conception du module DRAISY, la question de la conception de la cabine de conduite est au cœur des préoccupations. L'un des défis consiste à étudier une nouvelle implantation du poste de conduite et ce dans le cadre d'une conduite à vue à l'instar de la conduite tramways. Plusieurs solutions sont aujourd'hui discutées : (s1) deux cabines positionnées à chaque extrémité du train ; (s2) une monocabine centrale, innovante et digitale, avec une vision vers l'extérieur assurée par des caméras et des écrans ; (s3) une monocabine, innovante, en position surélevée permettant une vision directe sur l'extérieur.

Dans la continuité des travaux déjà menés par SNCF et le Centre d'Ingénierie du Matériel (i.e. projets Shift2Rail Cabin et Chaire ExAB Draisy), les décisions finales concernant la localisation de la future cabine de conduite, qui reviendront aux représentants composant le comité de pilotage du

projet, seront prises sur la base d'une évaluation des différentes solutions de conception au regard de 6 dimensions : attractivité, innovation, ingénierie, coûts, frugalité, conduite.

Du point de vue de l'ergonomie et des facteurs organisationnels et humains, l'IRT Railenium contribue à la réflexion autour du choix du positionnement de la cabine de conduite en apportant une évaluation des différentes solutions de conception au regard de la dimension « conduite ». L'objectif étant de parvenir à évaluer l'impact potentiel de chaque solution sur la capacité du conducteur à assurer les exigences de sécurité et performance propres à sa future activité de conduite.

Pour y parvenir, nous proposons une utilisation conjointe de CWA et AET pour orienter les choix de conception sur la base de (i) l'analyse du domaine de travail et la hiérarchie d'abstraction pour identifier les contraintes fonctionnelles du système DRAISY et (ii) l'analyse ergonomique du travail et l'analyse de l'activité de conduite dans différentes situations de référence (i.e. train et tramway) pour comprendre comment ces contraintes impactent l'activité des opérateurs. Après avoir présenté quelques bases théoriques, nous montrerons comment CWA et AET peuvent s'articuler pour former une matrice d'évaluation destinée à alimenter l'évaluation des différentes solutions de conception.

2. CWA ET AET : DEUX METHODES COMPLEMENTAIRES POUR ORIENTER LES CHOIX DE CONCEPTION

La CWA est définie comme une méthode d'analyse et d'évaluation des systèmes sociotechniques complexes dont le but est d'améliorer leur conception (Rasmussen et al., 1990 ; Vicente, 1999). En faisant des contraintes la première unité de l'analyse, la CWA participe à la conception de systèmes qui favorisent la mise en place des comportements flexibles et adaptatifs indispensables pour faire face aux situations non familières et inattendues. La CWA se compose de 5 phases d'analyse. Chacune d'elle identifie une catégorie de contrainte auquel le système est soumis. Ces contraintes définissent les conditions limites dans lesquelles le travail doit être réalisé (i.e. le champ des actions possibles). La première phase d'analyse, aussi appelé « analyse du domaine de travail » est l'une des étapes les plus souvent réalisées (Read et al., 2015). La hiérarchie d'abstraction (HA) est l'outil méthodologique de référence pour réaliser l'analyse du domaine de travail. Elle permet de décrire, en 5 niveaux d'abstraction, les contraintes structurelles et fonctionnelles encadrant les activités des opérateurs sur un domaine de travail. La description d'un domaine de travail par cette méthode hiérarchique commence par le niveau le plus abstrait et descend ensuite vers une description plus fine permettant de décrire (1) pourquoi le système existe et quels sont ses objectifs généraux ; (2) quelles lois ou fonctions abstraites régissent le comportement des objets du domaine ; (3) quelles fonctions générales, processus ou mécanismes permettent la mise en œuvre des fonctions abstraites ; (4) comment l'opérateur intervient sur ces objets ; et (5) comment les objets sont représentés dans le monde physique, leur forme, leur apparence. Notons que dans le domaine militaire, l'analyse du domaine de travail et la hiérarchie d'abstraction sont utilisés comme cadre d'évaluation de différentes solutions de conceptions (Naikar et Sanderson, 2000, 2001). Les auteurs parviennent à évaluer la capacité de trois solutions de conception à satisfaire, ou non, les fonctions liées aux objectifs fonctionnels du système identifiées dans la HA.

L'analyse ergonomique du travail (AET) est définie comme « une procédure globale qui vise à saisir, analyser, comprendre l'ensemble des éléments humains, techniques et sociaux qui contribuent à rendre compte de la façon dont un agent réalise l'ensemble des tâches qui lui sont dévolues dans une situation de travail donnée, avec les moyens qui lui sont attribués et les conditions de travail qui caractérisent cette situation » (Brangier et Valéry, 2021). L'ergonome cherche à confronter les exigences de la tâche (ce qui est à faire par un opérateur) et l'activité réellement mise en place (la façon dont l'opérateur réalise la tâche) (Ombredane et Faverge, 1955). L'observation des activités en situation de travail est alors au cœur de l'AET. Elle permet de comprendre comment un opérateur atteint l'objectif fixé dans un contexte donné tout en tenant compte de la tâche prescrite et des ressources disponibles.

D'un côté la HA se construit indépendamment du contexte et modélise, via l'identification des contraintes fonctionnelles et structurelles, un espace des possibles au sein duquel les opérateurs naviguent pour atteindre les objectifs fonctionnels. De l'autre côté, l'AET, indissociable du terrain, identifie comment un opérateur réalise réellement les tâches prescrites et comment ce dernier s'adapte au système de contrainte dans lequel il évolue. L'utilisation conjointe de ces deux approches permet d'identifier, parmi toutes les possibilités d'actions identifiées par la HA, quelles sont celles réellement mises en place par les opérateurs dans une situation de référence donnée.

Dans le cadre du projet DRAISY, l'utilisation conjointe de l'analyse du domaine de travail et de l'analyse de l'activité est proposée pour évaluer l'impact potentiel des différentes solutions de conception sur la capacité du conducteur à assurer les exigences de sécurité et performance propres à la future activité de conduite. L'objectif étant de s'assurer que les choix de conception concernant la cabine respectent les contraintes fonctionnelles et structurelles du système DRAISY et permettent à l'opérateur de mettre en place les comportements adaptatifs nécessaires à l'atteinte des exigences de sécurité et performance propres au système.

Dans un premier temps, la CWA et la HA permettraient de caractériser le système DRAISY en termes de fonctions et objectifs fonctionnels. Cette modélisation identifierait notamment les raisons de l'existence du système DRAISY, les objectifs généraux que le système doit remplir et par quels moyens le conducteur peut les atteindre.

Dans un second temps, l'observation des activités en situation réelle de travail permettrait de comprendre les exigences de l'activité de conduite train et tramway qui sont utilisées comme situations de références dans ce projet.

Tableau 1 : Template de la matrice d'évaluation.

	Fonction Générale 1	**Fonction Générale 2**
– Solution 1 – Deux cabines, une positionnée à chaque extrémité du train.	Evaluation experte destinée à identifier dans quelles mesures la solution 1 va (i) impacter l'activité de conduite et (ii) permettre ou non au conducteur de satisfaire la fonction générale 1.	Evaluation experte destinée à identifier dans quelles mesures la solution 1 va (i) impacter l'activité de conduite et (ii) permettre ou non au conducteur de satisfaire la fonction générale 2.
– Solution 2 – Monocabine, innovante et digitale, avec une vision vers l'extérieur assurée par des caméras et écrans.	Evaluation experte destinée à identifier dans quelles mesures la solution 2 va (i) impacter l'activité de conduite et (ii) permettre ou non au conducteur de satisfaire la fonction générale 1.	Evaluation experte destinée à identifier dans quelles mesures la solution 2 va (i) impacter l'activité de conduite et (ii) permettre ou non au conducteur de satisfaire la fonction générale 2.
– Solution 3 – Monocabine, innovante en position surélevée permettant une vision directe sur l'extérieur.	Evaluation experte destinée à identifier dans quelles mesures la solution 3 va (i) impacter l'activité de conduite et (ii) permettre ou non au conducteur de satisfaire la fonction générale 1.	Evaluation experte destinée à identifier dans quelles mesures la solution 3 va (i) impacter l'activité de conduite et (ii) permettre ou non au conducteur de satisfaire la fonction générale 2.

Pour finir, l'ensemble des données seraient confrontées au sein d'une matrice d'évaluation où chaque cellule propose une évaluation experte destinée à estimer la capacité d'une solution donnée à soutenir l'opérateur dans la réalisation de son activité orientée vers l'atteinte des objectifs fonctionnels identifiés (Tableau 1). Sur la base des travaux proposés par Naikar et Sanderson (2000, 2001), la matrice se composerait, en ligne, des différentes solutions de conception envisagées et en colonne, des

fonctions liées aux objectifs identifiées préalablement dans la hiérarchie d'abstraction. Il y aurait autant de ligne que de solutions à évaluer et autant de colonne que de fonctions générales à satisfaire.

3. CONCLUSION

A travers ce travail nous proposons un nouveau cadre destiné à évaluer différentes solutions de conception en mutualisant les apports de l'analyse cognitive du travail (CWA), et de l'analyse ergonomique du travail (AET). Alors que la HA modélise les contraintes fonctionnelles et structurelles du futur système DRAISY, l'AET est nécessaire pour comprendre les exigences opérationnelles de l'activité de conduite et saisir la façon dont les opérateurs réalisent les tâches au sein du système de contrainte dans lequel ils se situent. Cette double approche semble pertinente dans le cadre du projet DRAISY pour s'assurer que les choix de conception permettent au conducteur d'assurer les exigences de sécurité et performance propres à sa future activité de conduite.

La matrice d'évaluation qui résulte de ces analyses permettrait, sur la base d'une analyse experte, d'inclure les aspects humains, techniques et organisationnels dans les réflexions concernant l'orientation des choix de conception et le positionnement de la future cabine de conduite.

Des travaux sont actuellement menés pour construire la HA propre au futur système DRAISY et des analyses de l'activité sont réalisées pour différentes situations de référence (i.e. train léger type tramway ou tram-train et train lourd type TER).

A long terme, cette évaluation propre à la dimension « conduite » sera confrontée aux travaux réalisés dans chacune des autres dimensions de manière à sélectionner une solution cabine qui respectent les contraintes du projet en matière d'attractivité, d'innovation, de frugalité, de coûts, d'ingénierie et de conduite.

4. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ETHIQUES

Ce travail de recherche contribue au projet collaboratif français DRAISY. Il a été financé par le gouvernement français dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir et de France 2030 de l'ADEME. Nous tenons à remercier les partenaires du projet : SNCF, Lohr, GCK et Stations-e.

5. BIBLIOGRAPHIE

Naikar, N., & Sanderson, P. M. (2000). Evaluating design solutions with work domain analysis. Proceedings of the Joint Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society and the International Ergonomics Association (IEA2000/HFES2000).

Naikar, N., & Sanderson, P. M. (2001). Evaluating design proposals for complex systems with work domain analysis. Human Factors, 43, 529-542.

Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., & Schmidt, K. (1990). Taxonomy for Cognitive Work Analysis (Risø-M-2871; p. 155). Risø National Laboratory.

Vicente, KJ. (1999). Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Read, G. J. M., Salmon, P. M., & Lenné, M. G. (2015). Cognitive work analysis and design: Current practice and future practitioner requirements. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 16(2), 154-173.

Brangier, E., & Valléry, G. (2021). Ergonomie : 150 notions clés. Dunod.

Ombredane, A., & Faverge, J. (1955). L'analyse du travail. PUF.

2 Communications Longues (= CL) et

3 Communications Courte (= CC)

CL : *« Autres questions posées » dans Google : Rôle des connaissances antérieures du domaine et du type de tâche sur les stratégies de traitement des utilisateurs*

Cheyenne Dosso, Aline Chevalier, Lynda Tamine, Pierre-Vincent Paubel & Ladislao Salmerón

Université de Toulouse Jean-Jaurès, Laboratoire CLLE, cheyenne.dosso@univ-tlse2.fr

Université de Toulouse Jean-Jaurès, Laboratoire CLLE, aline.chevalier@univ-tlse2.fr

Université de Toulouse Paul Sabatier, Laboratoire IRIT, lynda.lechani@irit.fr

Université de Toulouse Jean-Jaurès, Laboratoire CLLE, pierre-vincent.paubel@univ-tlse2.fr

Université de Valencia, Laboratoire ERI-Lectura, ladislao.salmeron@uv.es

RÉSUMÉ

Afin de soutenir l'activité de recherche d'informations des utilisateurs lorsqu'ils réalisent des tâches complexes, l'interface du moteur de recherche *Google* ne se limite plus à l'affichage des résultats naturels (i.e. liste de liens bleus), mais intègre d'autres contenus comme ceux de l'outil *Autres questions posées* (AQPs). L'étude détermine comment les utilisateurs traitent cet outil par rapport à d'autres contenus (i.e. résultats naturels, documents) *via* l'oculométrie et en étudiant les effets de deux facteurs : 1. Le niveau de connaissances antérieures du domaine des utilisateurs (faible vs. élevé) et 2. Le type de tâche réalisée en distinguant le *lookup* (localisation d'une information ciblée et réponse fermée) de l'*exploratoire* (acquérir des connaissances et réponse ouverte). Les résultats montrent que l'AQPs est plus traité par les utilisateurs avec de faibles connaissances dès le début de la recherche. Le lookup conduit à un traitement plus important des résultats naturels alors que l'AQPs et les documents sont plus traités dans la tâche exploratoire. Des pistes d'amélioration des moteurs de recherche actuels sont discutés.

MOTS-CLÉS

Recherche d'informations, résultats naturels, autres questions posées, connaissances antérieures du domaine, lookup vs. exploratoire

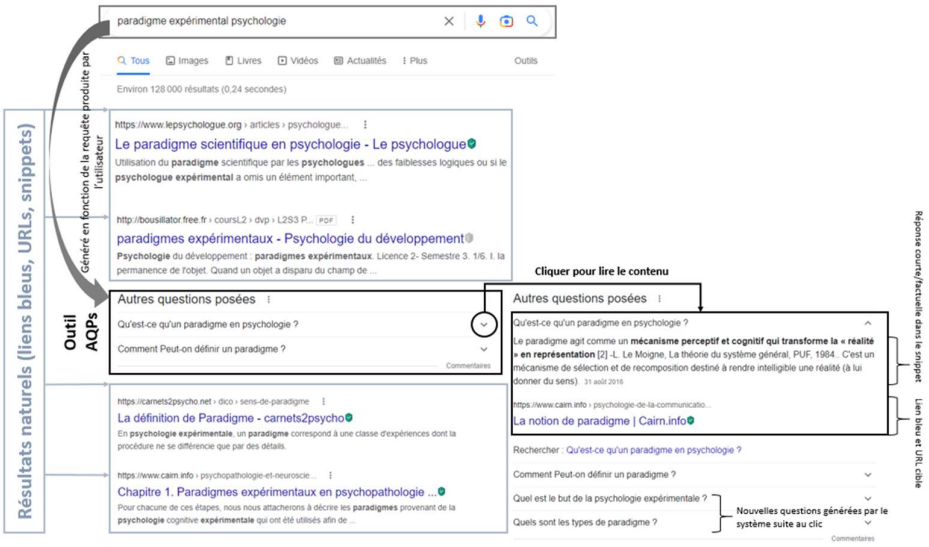
1 INTRODUCTION

Depuis l'avènement des systèmes d'informations, la diversité des tâches réalisées sur Internet n'a cessé de croitre. Alors que les tâches simples de fact-finding et de lookup[14] représentent 61 % des recherches, des tâches plus complexes et exploratoires[15] à des fins éducatives sont réalisées de plus en plus fréquemment (i.e. 42,3% ; Kemp, 2022). Afin de soutenir les utilisateurs lorsqu'ils utilisent Internet pour apprendre, les interfaces des systèmes d'informations se sont progressivement enrichies, en particulier au niveau des *Search Engine Results Pages* (SERPs ; Kameni-Homte et al., 2022). En effet, les SERPs ne se limitent plus à l'affichage des traditionnels « résultats naturels » (i.e. liens bleus et snippets correspondants), mais intègrent d'autres fonctions et outils comme la suggestion de requêtes et l'auto-complétion, les recherches associées ou encore l'outil *Autres Questions Posées* (AQPs). Plus précisément, l'outil AQPs (cf. Figure 1 pour un exemple) vise à réduire les coûts cognitifs d'une lecture approfondie des documents en ligne souvent plus complexes et plus riche en informations, en proposant à l'utilisateur une réponse courte, simple et factuelle qui répond à une question cible en lien avec la requête soumise (Pothirattanachaikul et al., 2020). Cependant, il est actuellement difficile de déterminer comment le contenu de l'outil AQPs est traité par les utilisateurs

[14] Localiser une information cible pour produire une réponse fermée (Marchionini, 2006 ; White & Roth, 2009)

[15] Acquérir de nouvelles connaissances (Marchionini, 2006 ; White & Roth, 2009) et produire une réponse ouverte (Palagi et al., 2017)

et si ces derniers sont conscients de son existence pour l'intégrer volontairement dans leurs stratégies de traitement par rapport à des contenus plus traditionnels (i.e. résultats naturels, documents). D'ailleurs, plusieurs récentes revues de la littérature concernant les interactions humain-SERPs indiquent que la grande majorité des travaux se sont focalisés sur les résultats naturels ou d'autres fonctionnalités plus anciennes (e.g. l'auto-complétion) délaissant l'investigation des outils et options de l'interface plus récentes (Lewandowski & Kammerer, 2020 ; Strzelecki, 2020).



<u>Figure 1 :</u> Représentation de l'interface des *Search Engine Results Pages (SERPs)* sur *Google* incluant la barre de recherche, les résultats naturels et l'outil *Autres questions posées* (AQPs)

Compte tenu de la diversité des tâches effectuées par les utilisateurs, les caractéristiques de celles-ci pourraient avoir des effets non-négligeables sur le traitement des différents types de contenus et l'utilisation de l'outil AQPs. Par exemple, une tâche de lookup complexe nécessitant des utilisateurs qu'ils s'engagent dans une compréhension des contenus et qu'ils explorent plusieurs pistes de recherche pour atteindre la réponse cible, peut mener les utilisateurs à davantage passer de temps à traiter les résultats naturels des SERPs (pour évaluer la pertinence des résultats fournis), alors qu'une tâche exploratoire peut les mener à passer plus de temps à exploiter le contenu des documents (pour comprendre et intégrer de nouvelles informations en mémoire de travail; Dosso et al., 2021).

Du côté des utilisateurs, le niveau de connaissances antérieures du domaine peut également avoir des effets sur le traitement des différents contenus. Par exemple, lorsque les connaissances antérieures du domaine sont élevées, les utilisateurs qui en bénéficient construisent une représentation mentale initiale de la tâche sémantiquement plus cohérente que leurs homologues sans ou avec peu de connaissances (Sanchiz et al., 2017 ; Sanchiz et al., 2020) qui de leur côté doivent dédier les premières minutes de leur recherche à l'acquisition de connaissances factuelles de base (i.e. recherche de définitions, clarification des termes de l'énoncé de la tâche… Athukorala et al., 2015 ; Vakkari, 2001). De plus, les utilisateurs sans ou avec peu de connaissances sont plus dépendants des caractéristiques et des fonctionnalités de l'interface avec laquelle ils interagissent de façon à ce que le traitement des contenus soit plutôt dirigé par des processus bottom-up. Par exemple sur l'interface des SERPs (résultats du moteur de recherche), ils sont plus dépendants de certains marqueurs typographiques sur les snippets pour guider leur lecture (Dinet et al., 2010), ils sont davantage affectés par le biais de position[16] pour sélectionner les résultats (Kiseleva et al., 2015) et ils effectuent de façon générale une lecture plus superficielle que leurs homologues avec des connaissances élevées en lisant moins de contenu tout en étant plus rapide à la sélection (Brand-Gruwel et al., 2017 ; Sanchiz, Amadieu

[16] Traitement et sélection focalisés sur les 3 premiers liens fournis par le système de recherche (Cutrell & Guan, 2007).

et al., 2019). A l'inverse, les utilisateurs avec des connaissances élevées sont davantage guidés par des processus top-down lors du traitement et de la lecture des contenus. Par exemple, au niveau des documents, les utilisateurs avec des connaissances élevées traitent une quantité plus importante de contenus (i.e. plus de documents visités, plus de contenus lus à l'intérieur des documents) et plus rapidement que leurs homologues sans connaissances (Brand-Gruwel et al., 2017 ; Sanchiz, Amadieu et al., 2019 ; Sanchiz, Lemarié et al., 2019).

Etant donné les enjeux sociétaux et appliqués d'une meilleure compréhension des interactions humain-système dans le cadre de la réalisation de tâches complexes, la présente étude s'intéresse à la façon dont les utilisateurs traitent les différents contenus en ligne (i.e. résultats naturels, outil AQPs et documents) en fonction du type de tâches qu'ils ont à réaliser et de leur niveau de connaissances antérieures du domaine. Dans ce cadre, plusieurs hypothèses de recherche sont avancées. Parce que l'outil AQPs vise à réduire l'effort cognitif des utilisateurs en leur fournissant un accès rapide à des connaissances de base via l'interface de recherche (Pothirattanachaikul et al., 2020), celui-ci devrait être particulièrement traité par des utilisateurs avec des connaissances faibles qui sont davantage guidés par des processus bottom-up et qui ont besoin de clarifier leur représentation mentale initiale **(H1a).** En revanche, les utilisateurs avec des connaissances élevées dans le domaine et qui guident leur traitement à travers des processus top-down devraient explorer les résultats naturels des SERPs plus en profondeur **(H1b)** tout en traitant les documents plus efficacement **(H1c).** Enfin, pour résoudre une tâche de lookup complexe, les utilisateurs devraient davantage traiter les résultats naturels des SERPs pour évaluer leur pertinence **(H2a)** alors qu'ils devraient davantage traiter l'outil AQPs et les documents pour explorer un sujet et acquérir des connaissances **(H2b).**

Afin de tester ces hypothèses, une étude oculométrique a été conduite impliquant une méthode de recherche mixte. Le niveau de connaissances antérieures du domaine des utilisateurs (faible vs. élevé) était la variable indépendante inter-sujet de cette étude. Le type de tâche (lookup complexe vs. exploratoire) était la variable indépendante intra-sujet. Plus précisément, à la suite du test des hypothèses *via* l'analyse de données quantitatives, une analyse comparative de cas a été réalisée pour décrire plus précisément les stratégies de traitement employées par les utilisateurs. A cette fin, deux participants représentatifs de l'échantillon ont été sélectionnés. La méthode employée dans cette étude est présentée en section 2, les résultats obtenus à travers ces deux méthodes d'analyse sont mis en avant en section 3 puis sont discutés en section 4.

2 METHODE

2.1 Participants

Trente-sept étudiants inscrits en Licence 3 dans leur discipline d'étude à l'Université de Toulouse ont participé à cette étude : 17 participants avaient des connaissances antérieures en psychologie ; 5 hommes et 12 femmes âgés de 20 à 32 ans (M= 22.2 SD= 3.13), tous de langue maternelle française, et 20 participants n'avaient pas ou peu de connaissances antérieures en psychologie étant issus d'autres disciplines (e.g. histoire, arts-plastiques, économie et gestion ...) ; 8 hommes et 12 femmes âgés de 19 à 24 ans (M= 21.1 SD= 1.43), tous de langue maternelle française excepté un participant déclarant être parfaitement bilingue.

Afin de vérifier que les deux groupes différaient au niveau de leurs connaissances en psychologie, les participants ont eu à répondre à un QCM composé de quatorze questions dont chacune proposait cinq modalités de réponses (i.e. une correcte, trois fausses et « je ne sais pas »). Comme attendu ($t(35)= 10.98$; $p < .001$; $d = 3.62$), les étudiants en psychologie ont significativement obtenu de meilleurs scores au QCM (M= 7 *SD*= 1.9) que leurs homologues avec des connaissances faibles (M= 1 *SD*= 1.41). La familiarité avec Internet a aussi été évaluée à travers le nombre d'années passées à

utiliser Internet où aucune différence significative n'est apparue entre les deux groupes ($t(35) = .14$; $p > .05$).

2.2 Matériel

2.2.1. Tâches

Sur la base des tâches utilisées par Dosso et al., (2021), deux scénarios ont été développés pour la tâche de lookup complexe et pour la tâche exploratoire et sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Scénarios et consignes de la tâche de lookup complexe versus de la tâche exploratoire (N.B. les mots en gras apparaissaient ainsi pour tous les participants)

Tâche de lookup complexe	Tâche exploratoire
Dans le cadre d'un cours, vous êtes amené.e à réaliser un travail de recherche. Vous devez utiliser un paradigme expérimental qui présente à de très jeunes personnes des récits imaginaires se déroulant dans un cadre familial ou scolaire où des jugements doivent être exprimés. Votre objectif est de trouver un paradigme expérimental **qui satisfasse à l'ensemble de ces critères** en vous rendant sur internet pendant **maximum 15 minutes.** Une fois que vous êtes certain.e d'avoir trouvé le paradigme correspondant aux critères, retranscrivez son intitulé dans l'encadré ci-dessous. Si vous pensez ne pas avoir trouvé la réponse, inscrivez « je ne sais pas ».	Dans le cadre d'un cours, vous êtes amené.e à réaliser un travail de réflexion sur le concept de l'Attention. "Pensez à tout ce que vous connaissez mais aussi à tout ce que vous aimeriez connaître sur le concept d'Attention et effectuer une recherche sur le sujet." Vous disposez de **15 minutes maximum et obligatoire** pour résoudre cette tâche en vous rendant sur internet. Votre objectif principal est **d'acquérir de nouvelles connaissances sur le sujet du concept d'Attention**. En d'autres termes, il ne s'agit pas de récupérer sur internet des connaissances que vous avez déjà mais d'en acquérir de nouvelles. A l'issue des 15 minutes de recherche, résumez dans l'encadré ci-dessous l'ensemble des nouvelles connaissances que vous venez d'acquérir

2.2.2. Appareil de mesures

L'appareil d'eye-tracking permettant l'enregistrement des mouvements occulaires était des lunettes portatives SMI (Teltow, Germany). Le taux d'échantillonnage était de 120 Hz avec une résolution et une précision spatiale des données à 0,5°. Afin de construire les zones d'intérêts et extraire les stratégies de traitement oculaires, le logiciel BeGaze 3.7.6 de SMI a été utilisé. Au niveau de l'interface des SERPs, chaque résultat naturel (i.e. lien bleu et snippet correspondant) et chaque AQP (i.e. question, lien bleu et snippet correspondant) avaient une zone d'intérêt spécifique. Au niveau des documents, chaque paragraphe de texte a eu sa zone d'intérêt dédiée.

2.3 Variables dépendantes

De façon à déterminer comment les participants ont traité les différents contenus en ligne (sur les SERPs et sur les documents), trois variables dépendantes ont été prises en compte : **VD1** – Le nombre moyen de fixations sur les résultats naturels (liens bleus et snippets correspondants) et **VD2** – Le nombre moyen de fixations sur l'outil AQPs (questions, liens bleus et snippets correspondants). Pour calculer chacune de ces variables, le nombre total de fixations a été divisé par le nombre total de nouveaux SERPs visités. **VD3** – Le nombre moyen de fixations sur les paragraphes textuels des documents. Pour calculer cette variable, le nombre total de fixations a été divisé par le nombre total de nouveaux documents visités au cours de la recherche.

2.4. Procédure

Avant de venir réaliser leur recherche sur le campus universitaire, les participants devaient compléter un pré-questionnaire en ligne (Qualtrics XM) contenant le consentement libre et éclairé, des questions sociodémographiques ainsi que les éléments présentés en section 2.1. La recherche sur Internet durait en moyenne 40 minutes avec une première phase d'explication des consignes de l'expérience, du calibrage des lunettes d'eye-tracking et d'un entrainement à la recherche d'informations. Lors de la seconde phase, les participants réalisaient la tâche de lookup complexe et la

tâche exploratoire dont l'ordre de présentation était randomisé. Les participants pouvaient (re)lire les scénarios de recherche, prendre des notes et fournir leur réponse finale dans des encadrés spécifiques sur Qualtrics XM. Concernant la tâche exploratoire, les participants disposaient de 15 minutes maximum et obligatoires pour rechercher des informations sur Internet. En revanche, dans la mesure où la tâche de lookup complexe impliquait une réponse fermée, la consigne pour les participants étaient d'essayer de trouver la réponse en 15 minutes maximum.

3. RESULTATS

Les VD2 et VD3 violant l'hypothèse d'homogénéité des variances (test de Levene), celles-ci ont été corrigées par transformation logarithmique. Pour chaque VD, un modèle d'ANOVA mixte a été utilisé avec les connaissances antérieures du domaine comme facteur inter-sujet (faibles vs. élevées) et le type de tâche comme facteur intra-sujet (lookup complexe vs. exploratoire). Lorsque l'interaction était significative, l'analyse post-hoc de Scheffe a été appliquée. Le Tableau 2 présente l'ensemble des moyennes et des *écartypes* pour chaque VD.

VD1-Nombre moyen de fixations sur les résultats naturels des SERPs. Concernant l'effet principal des connaissances antérieures du domaine, l'ANOVA mixte n'est pas significative ($F(1,35)= 0.691$; $p > .05$). L'hypothèse H1b n'est donc pas vérifiée. En revanche, conformément à l'H2a, la tâche de lookup complexe conduit les participants à davantage fixer les résultats naturels des SERPs que la tâche exploratoire ($F(1,35)= 4.93$; $p < .05$; $n^2p= .123$). Enfin, l'interaction entre les connaissances antérieures du domaine et le type de tâche n'est pas significative ($F(1,35)= 1.58$; $p > .05$). Ainsi, l'hypothèse H1b n'est définitivement pas validée.

VD2-Nombre moyen de fixations sur l'outil AQPs. En accord avec l'H1a, les participants avec des connaissances faibles dans le domaine fixent davantage l'outil AQPs que les participants avec des connaissances élevées ($F(1,35)= 4.16$; $p = .05$; $n^2p= .106$). De plus, le type de tâche est également significatif ($F(1,35)= 41.4$; $p < .001$; $n^2p= .542$). La tâche exploratoire mène les utilisateurs à un plus grand nombre de fixations sur l'outil AQPs que la tâche de lookup complexe. Cette partie de l'hypothèse H2 est validée. En revanche, l'ANOVA n'est pas significative pour l'interaction entre les connaissances antérieures du domaine et le type de tâche ($F(1,35)= 3.26e-5$; $p > .05$). L'hypothèse 1a n'est donc pas totalement confirmée.

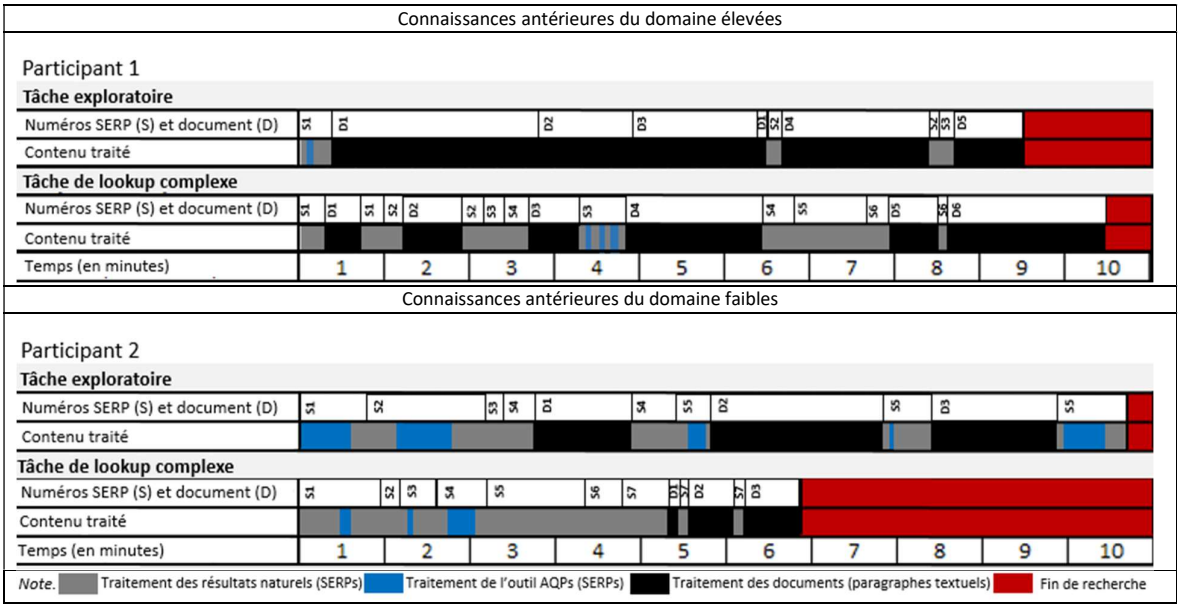
VD3-Nombre moyen de fixations sur les documents. En concordance avec l'H1c, les participants avec des connaissances antérieures élevées fixent significativement moins les paragraphes de texte à l'intérieur des documents que leurs homologues avec des connaissances faibles ($F(1,35)= 9.5$; $p = .004$; $n^2p = .214$). Egalement, le type de tâche est significatif ($F(1,35)= 81.29$; $p < .001$; $n^2p= .699$) et va dans le sens de l'H2b : lorsque les participants résolvent une tâche exploratoire, ils fixent davantage les paragraphes des documents que lorsqu'ils réalisent une tâche de lookup complexe. Pour terminer, l'ANOVA ne révèle aucun effet significatif concernant l'interaction entre les connaissances antérieures du domaine et le type de tâche ($F(1,35)= .01$; $p > .05$), l'H1c n'étant alors que partiellement validée.

Tableau 2 : Moyennes (*écartypes*) du nombre moyen de fixations sur les résultats naturels, sur l'outil AQPs et sur les documents en fonction des connaissances antérieures du domaine (faibles vs. élevées) et des tâches (lookup complexe vs. exploratoire).

	Tâche de lookup complexe	Tâche exploratoire	Total connaissances
Nombre moyen de fixations sur les résultats naturels des SERPs (liens bleus + snippets)			
Connaissances élevées	50.5 (*25.2*)	43.9 (*39*)	47.2 (*32.5*)
Connaissances faibles	66.6 (*35.14*)	42.6 (*34.8*)	54.6 (*36.6*)
Total tâches	58.6 (*31.6*)	43.3 (*36.23*)	
Nombre moyen de fixations (Log10) sur l'outil AQPs des SERPs (liens bleus + snippets)			
Connaissances élevées	.04 (*1*)	1.6 (*1.27*)	.82 (*1.37*)
Connaissances faibles	.81 (*1.12*)	2.36 (*1.83*)	1.59 (*1.7*)
Total tâches	.42 (*1.11*)	1.98 (*1.62*)	
Nombre moyen de fixations (Log10) sur les documents (paragraphes textuels)			

Connaissances élevées	4.52 (*.53*)	5.5 (*.69*)	5.01 (*.78*)
Connaissances faibles	5.07 (*.65*)	6.07 (*.69*)	5.6 (*.83*)
Total tâches	4.79 (*.65*)	5.78 (*.74*)	

Afin d'apporter davantage d'éléments explicatifs sur la façon dont les participants ont traité les différents contenus (i.e. résultats naturels, outil AQPs, documents) au cours de leur recherche et en fonction des tâches et des connaissances antérieures du domaine, les séquences et les temps de traitement de deux participants représentatifs de l'échantillon principal ont été extraits. Plus précisément, le participant 1 est un étudiant avec des connaissances élevées en psychologie dont le score au QCM (=6) était proche de la moyenne générale de son groupe (M= 7 *SD*= 1.9). Le participant 2 est un étudiant avec des connaissances faibles en psychologie (i.e. score de 0 au QCM) en accord avec la moyenne générale de son groupe (M= 1 SD= 1.41). La Figure 2 présente les stratégies de traitement de ces deux participants et les différences notables entre ces derniers sont décrites dans cette section.



<u>Figure 2 :</u> Stratégies de traitement des différents contenus (résultats naturels, outil AQPs, documents) en fonction du niveau de connaissances antérieures du domaine des utilisateurs (élevé vs. faible) et des tâches (exploratoire vs. lookup complexe).

La première différence s'établie au niveau de l'initiation de la recherche. Le participant 2 avec des connaissances faibles met plus de temps à traiter le SERP initial que le participant 1 avec des connaissances élevées (i.e. moins d'une minute). De plus, le participant 2 traite dès le départ l'outil AQPs, en particulier pour la tâche exploratoire alors que le participant 1 se focalise sur les résultats naturels. *La seconde différence* est conforme aux résultats obtenus précédemment concernant les différentes tâches. La tâche de lookup complexe conduit à un traitement plus important des résultats naturels des SERPs alors que la tâche exploratoire mène à un traitement plus important de l'outil AQPs et des documents. *La troisième différence* pouvant être mise en avant entre les participants 1 et 2 est le temps total dédié au traitement des contenus. Plus précisément, le participant 1 dédit plus de temps au traitement des contenus pour la tâche de lookup complexe que pour la tâche exploratoire alors que le contraire est observé pour le participant 2. *Enfin,* le participant 1 focalise davantage son traitement sur les documents en suivant une stratégie non-linéaire pour la tâche exploratoire (i.e. navigation inter-document importante). Au contraire, le participant 2 pour la tâche exploratoire suit une stratégie plus linéaire entre le traitement des résultats naturels et le traitement de contenus lui permettant de collecter des informations et d'acquérir de nouvelles connaissances (i.e. outil AQPs et paragraphes des documents). En revanche, pour les deux participants, le traitement des SERPs est beaucoup moins

linéaire pour la tâche de lookup complexe mais cette non-linéarité des stratégies de traitement est plus importante chez le participant 2 qui traite uniquement le contenu des SERPs (en particulier les résultats naturels) sans sélectionner de document alors que le participant 1 traite de façon plus proportionnelle les résultats naturels et les documents.

4 DISCUSSION

La présente étude visait à mieux comprendre comment les utilisateurs en fonction de leur niveau de connaissances antérieures et des tâches qu'ils avaient à réaliser traitaient les différents contenus en ligne (i.e. résultats naturels, outil AQPs, documents).

Concernant la comparaison entre la tâche de lookup complexe et la tâche exploratoire, les résultats obtenus dans cette étude confirment ceux obtenus précédemment qui indiquaient que les utilisateurs passaient plus de temps sur les SERPs pour la tâche de lookup complexe et plus de temps sur les documents pour la tâche exploratoire (Dosso et al., 2021). Cependant, cette étude montre que la tâche exploratoire implique également un traitement plus important de l'outil AQPs. En outre, une tâche de lookup implique de comparer mentalement les résultats naturels fournis par le moteur de recherche avec la représentation mentale stockée en mémoire de travail pour évaluer leur pertinence (Sanchiz et al., 2020 ; Sharit et al., 2015). En revanche, une tâche exploratoire étant plus ouverte et impliquant un processus de compréhension plus complexe allant au-delà de la localisation et de l'extraction d'informations cibles (Athukorala et al., 2015 ; Palagi et al., 2017 ; White & Roth, 2009), le traitement approfondi de contenus textuels (i.e. AQPs et documents) nécessite la mobilisation de davantage de ressources cognitives.

De plus, les connaissances antérieures du domaine ont eu des effets notables sur les stratégies de traitement des contenus. En effet, l'outil AQPs, visant à acquérir plus facilement et plus rapidement des connaissances factuelles que lors du traitement approfondi de documents plus complexes (Pothirattanachaikul et al., 2020), est davantage traité par les utilisateurs avec des connaissances faibles. Ce résultat rejoint de précédents travaux montrant que ces utilisateurs s'appuient davantage sur les caractéristiques et les fonctionnalités des interfaces avec lesquelles ils interagissent pour guider leur traitement (Brand-Gruwel et al., 2017 ; Dinet et al., 2010 ; Kiseleva et al., 2015 ; Sanchiz, Amadieu et al., 2019). Plus précisément, le participant 2 avec des connaissances faibles traite l'outil AQPs dès le démarrage de la recherche sur le SERP initial traduisant le fait qu'il le traite de façon volontaire. Ainsi, il est probable que l'outil AQPs, lorsqu'il est utilisé dans les premières secondes de la recherche par un utilisateur avec des connaissances faibles lui permette de clarifier sa représentation mentale initiale qui est généralement moins cohérente qu'un utilisateur avec des connaissances élevées et d'acquérir des connaissances de base (Athukorala et al., 2015 ; Sanchiz et al., 2017 ; Sanchiz et al., 2020 ; Vakkari, 2001). Du côté du traitement approfondi des documents, les utilisateurs avec des connaissances faibles ont mobilisé plus de ressources cognitives dans leur traitement (i.e. plus de fixations) que les utilisateurs avec des connaissances élevées, ce qui va dans le sens des travaux antérieurs (Brand-Gruwel et al., 2017; Sanchiz, Amadieu et al., 2019 ; Sanchiz, Lemarié et al., 2019). En outre, le participant 1 a eu tendance à effectuer plus de navigation inter-documents alors que le participant 2 a traité moins de documents tout en ayant plus de difficultés à accéder à du contenu pertinent pour résoudre la tâche de lookup complexe.

En conclusion, les résultats de cette étude permettent d'indiquer que l'outil AQPs joue un rôle important dans le cadre de la réalisation de tâches complexes, en particulier les tâches exploratoires menant à de l'apprentissage et que les concepteurs et les ergonomes pourraient davantage l'améliorer. Notamment, l'outil AQPs pourrait être davantage adaptatif quant à la complexité de son contenu afin d'être utilisé par une plus grande diversité de profils utilisateurs (i.e. aller au-delà des connaissances factuelles simples).

5 REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ETHIQUES

Cette recherche a été financée par l'Agence Nationale française de la Recherche (ANR), CoST-Modelling Complex Search Tasks (ANR-18-CE23-0016).

6 BIBLIOGRAPHIE

Athukorala, K., Głowacka, D., Jacucci, G., Oulasvirta, A., & Vreeken, J. (2015). Is exploratory search different? A comparison of information search behavior for exploratory and lookup tasks. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, *67*(11), 2635-2651. https://doi.org/10.1002/asi.23617

Brand-Gruwel, S., Kammerer, Y., van Meeuwen, L. & van Gog, T. (2017). Source evaluation of domain experts and novices during Web search. *Journal of Computer Assisted Learning, 33*(3), 234-251. https://doi.org/10.1111/jcal.12162

Cutrell, E. & Guan, Z. (2007). What are you looking for? An eye-tracking study of information usage in Web search. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'07)*, pp.407-416. https://doi.org/10.1145/1240624.1240690

Dinet, J., Bastien, J. M. C., & Kitajima, M. (2010). What, where and how are young people looking for in a search engine results page? Impact of typographical cues and prior domain knowledge. In *Proceedings of the 22nd Conference on Interaction Homme-Machine (IHM'10)*, pp. 105-112. https://doi.org/10.1145/1941007.1941022

Dosso, C., Moreno, J.G., Chevalier, A., & Tamine, L. (2021). CoST: An annotated data collection for complex search. In *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Conference on Information and Knowledge Management (CIKM'21),* pp. 4455-4464. https://doi.org/10.1145/3459637.3481998

Kameni-Homte, J. S., Batchakui, B. & Nkambou, R. (2022). Search engines in learning contexts: a literature review. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, *17*(02), 254-272. https://doi.org/10.3991/ijet.v17i02.26217

Kiseleva, J., García, A., Kamps, J., & Spirin, N. (2015). The impact of technical domain expertise on search behavior and task outcome. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1512.07051

Kemp, S. (2022, janvier). *Digital 2022: global overview report.* Datareportal. https://datareportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report

Lewandowski, D., & Kammerer, Y. (2020). Factors influencing viewing behaviour on search engine results pages: a review of eye-tracking research. *Behaviour & Information Technology*, *40*(14), 1485-1515. https://doi.org/10.1080/0144929x.2020.1761450

Marchionini, G. (2006). Exploratory search: from finding to understanding. *Communications of the ACM*, *49*(4), 41-46. https://doi.org/10.1145/1121949.1121979

Palagi, E., Gandon, F., Troncy, R., & Giboin, A. (2017). A survey of definitions and models of exploratory search. In *Proceedings of the ACM Workshop on Exploratory Search and Interactive Data Analytics (ESIDA'17)*, pp. 3-8. https://doi.org/10.1145/3038462.3038465

Pothirattanachaikul, S., Yamamoto, T., Yamamoto, Y., & Yoshikawa, M. (2020). Analyzing the effects of « People also ask » on search behaviors and beliefs. In *Proceedings of the 31st ACM Conference on Hypertext & Social Media (HT'20)*, pp. 101-110. https://doi.org/10.1145/3372923.3404786

Sanchiz, M., Chevalier, A., & Amadieu, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of age, domain knowledge and problem complexity on the different steps of

information searching. *Computers in Human Behavior, 72,* 67-78. https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.038

Sanchiz, M., Amadieu, F., Fu, W. T., & Chevalier, A. (2019). Does pre-activating domain knowledge foster elaborated online information search strategies? Comparisons between young and old web user adults. *Applied Ergonomics, 75*, 201-213. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.10.010

Sanchiz, M., Lemarié, J., Chevalier, A., Cegarra, J., Paubel, P. V., Salmerón, L., & Amadieu, F. (2019). Investigating multimedia effects on concept map building: Impact on map quality, information processing and learning outcome. *Education and Information Technologies, 24*(6), 3645-3667. https://doi.org/10.1007/s10639-019-09943-x

Sanchiz, M., Amadieu, F., & Chevalier, A. (2020). An evolving perspective to capture individual differences related to fluid and crystallized abilities in information searching with a search engine. Dans W.T. Fu, & H. van Oostendorp (Eds.), *Understanding and Improving Information Search* (pp. 71-96). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38825-6_5

Sharit, J., Taha, J., Berkowsky, R. W., Profita, H., & Czaja, S. J. (2015). Online information search performance and search strategies in a health problem-solving scenario. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, *9*(3), 211-228. https://doi.org/10.1177/1555343415583747

Strzelecki, A. (2020). Eye-tracking studies of Web search engines: a systematic literature review. *Information, 11*(6). https://doi.org/10.3390/info11060300

Vakkari, P. (2001). Changes in search tactics and relevance judgements when preparing a research proposal. A summary of the findings of a longitudinal study. *Information Retrieval Journal, 4*(3), 295-310. https://doi.org/10.1023/A:1016089224008

White, R. W., & Roth, R. A. (2009). Exploratory search: beyond the query-response paradigm. Dans G. Marchionini (Ed.), *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services* (pp. 1-98). Morgan & Claypool Publishers series. https://doi.org/10.2200/S00174ED1V01Y200901ICR003

CL : *Patients atteints de mélanomes cutanés avancés bénéficiant de traitements innovants : pourquoi et comment recherchent-ils des informations ?*

Aline Chevalier[1], Agathe Laborde[1], Nicolas Meyer[2], Vincent Sibaud[2], Cécile Pagès-Laurent[2], Marion Marcaillou[2], Cheyenne Dosso[1], Marie Beylot-Barry[3] & Bruno Quintard[4]

[1]Université Toulouse Jean Jaurès, Laboratoire CLLE (CNRS, UMR 5263), 5 allées A. Machado, 31058 Toulouse cedex, {aline.chevalier; cheyenne.dosso}@univ-tlse2.fr , agathe.laborde@etu.univ-tlse2.fr

[2]Institut Universitaire du Cancer de Toulouse, Service d'Onco-dermatologie, 1 av. Irène Joliot-Curie, 31100 Toulouse, {sibaud.vincent; PagesLaurent.Cecile}@iuct-oncopole.fr, {meyer.n; marcaillou.m}@chu-toulouse.fr

[3]CHU de Bordeaux, Département de Dermatologie, 1 rue Jean Burguet, INSERM BRIC U1312, 33000 Bordeaux, marie.beylot-barry@chu-bordeaux.fr

[4]Université de Bordeaux, Laboratoire de Psychologie LABPsy (UR 4139), 3 ter place de la Victoire, 33076 Bordeaux Cedex, bruno.quintard@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

Le mélanome cutané représente un cancer en forte croissance. Le pronostic vital des patients aux stades avancés était relativement sombre jusqu'à l'arrivée de thérapies innovantes cette dernière décennie, qui ont permis de considérablement l'améliorer. Ces nouvelles thérapies et le parcours de soin associé peuvent néanmoins susciter certains questionnements chez les patients, en plus des informations fournies par le personnel soignant. L'objectif de cette étude exploratoire était d'identifier les besoins informationnels, les sources d'information utilisées par des patients (en les comparant à un groupe témoin) et leur évaluation en termes de crédibilité, composante de la littératie en santé. Les principaux résultats ont montré que près de la moitié des patients se tournent vers Internet et les revues scientifiques et/ou de vulgarisation pour compléter les informations fournies par le personnel soignant. Ils développent également des stratégies spécifiques pour évaluer la crédibilité des sources. Les résultats sont discutés et des pistes de recherche proposées.

MOTS-CLÉS

Besoin informationnel ; Mélanome ; Recherche d'information ; Littératie ; Crédibilité des sources

1. INTRODUCTION

Entre 1990 et 2018, le nombre de patients atteints de mélanome cutané a été multiplié par 5 (+371%) chez les hommes et par 3 (+189%) chez les femmes. Bien que l'incidence soit la plus haute entre 40 et 50 ans, ce cancer peut survenir à tout âge et est l'un des cancers les plus fréquents chez les jeunes adultes (25-50 ans) en Occident[17]. En France, le mélanome est l'un des cancers qui a connu la plus forte progression entre 2010 et 2018 (+3.4% par an chez l'homme et 2.4% chez la femme soit 15500 nouveaux cas ; Rapport INCa, 2021). Cette même tendance à la hausse est observée dans

[17] https://www.cancer-environnement.fr/340-Melanome-cutane.ce.aspx

d'autres pays occidentaux, comme le Canada (Association Canadienne de Dermatologie, 2020) ou les États-Unis[18].

Si le pronostic des patients atteints de mélanome était relativement sombre il y a quelques années, il a connu au cours de la dernière décennie des avancées majeures dans la prise en charge thérapeutique aux stades avancés (stades III et IV). Ces patients peuvent désormais recevoir des traitements par immunothérapie ou thérapie ciblée, selon la mutation tumorale, soit en traitement adjuvant (i.e. une fois que la tumeur primitive et les éventuelles métastases ont été réséquées) afin de réduire le risque de récidive, soit au stade métastatique ou non opérable (Guillot et al., 2019). Si ces nouveaux traitements ont considérablement amélioré le pronostic des patients, ils peuvent être également source de questionnement (e.g. les conséquences sur la vie quotidienne pendant le traitement) notamment concernant l'efficacité mais aussi les éventuelles toxicités associées (Barailler et al., 2020 ; Sibaud et al., 2021). En plus des informations et réponses fournies par le personnel de santé, les patients peuvent par eux-mêmes, rechercher et collecter des informations auprès d'autres sources, comme Internet. La recherche, la compréhension et l'utilisation des informations relatives à la santé représentent un enjeu majeur pour les patients atteints d'un cancer (Pulido et al., 2022) en particulier à des stades avancés comme les mélanomes de stades III-IV, en vue d'un possible traitement. En outre, l'annonce du diagnostic, puis le parcours de soin en cancérologie, constituent pour les patients une période extrêmement difficile. Celle-ci nécessite des stratégies d'adaptation, pour faire face à la maladie, aux prises de décisions, et conserver ou recouvrer une qualité de vie acceptable. La recherche d'informations (RI) pour comprendre et mieux appréhender sa pathologie fait partie de ces stratégies (e.g. Faury et al., 2020).

Dans une récente étude canadienne, plus de 80% des personnes atteintes d'un cancer cherchaient sur Internet des informations liées au cancer dont elles souffraient (Eng et al., 2020). En France, les chiffres semblent plus modestes : une étude publiée en 2018, par Bouhnik et al., indiquait que seulement 25% des patients atteints de cancer recherchaient des informations sur Internet, et dans 46% des cas, ils considéraient ces informations comme crédibles. Pour les patients, ces recherches poursuivent plusieurs objectifs dont : s'informer de façon plus précise sur leur pathologie ; échanger avec leurs médecins, et leurs soignants plus largement, sur leur pathologie (traitement, symptômes, etc.), être aidés pour participer aux décisions concernant leur prise en charge thérapeutique (Eng et al., 2020). Ce dernier point rejoint les objectifs de la loi du 4 mars 2002 et les recommandations du Conseil de l'Europe, à savoir que « la participation des citoyens et des patients aux processus de décision concernant les soins de santé doit être considérée comme un droit fondamental de toute société démocratique » (Conseil de l'Europe, 2001).

Or, rechercher des informations liées à la santé sur Internet constitue une activité cognitive complexe, demandant l'intervention de plusieurs facteurs, dont la littératie en santé, qui y tient un rôle prépondérant (cf. modèle de RI en santé développé par Hernandez et al., 2018). D'après Sørensen et al. (2012), la littératie en santé implique des connaissances et des compétences pour accéder, comprendre, évaluer et appliquer des informations sur la santé, et prendre des décisions dans la vie quotidienne concernant les soins de santé pour maintenir ou améliorer sa qualité de vie. Cette définition souligne l'importance de l'évaluation des informations, qui prend tout son sens avec Internet. En effet, une grande variété de documents traitant de la santé, notamment en oncologie, très inégaux en termes de qualité, sont diffusés sur le Web (Tan & Goonawardene, 2017). Cela implique de la part des personnes qui recherchent des informations, en particulier des patients, d'évaluer la qualité et la fiabilité des informations et rejoint le concept de crédibilité, lui-même étroitement lié à la confiance, la fiabilité, l'exactitude, l'autorité et la qualité (Rieh, 2002). Etre en mesure d'évaluer cette crédibilité est central et peut avoir des conséquences sur son propre parcours de soin. Par ex., lorsque

[18] https://www.cancer.org/cancer/melanoma-skin-cancer/about/key-statistics.html

les informations trouvées par le patient diffèrent de celles fournies par le médecin, cela peut impacter négativement la confiance envers le médecin, y compris dans le domaine de l'oncologie (e.g. un traitement prescrit ou des informations fournies ; Broom, 2005 ; Chung, 2013).

Dans le domaine de l'onco-dermatologie, une récente étude conduite par Livingstone et al. (2021), chez des patients atteints de mélanomes cutanés avancés et pour lesquels un traitement adjuvant était proposé, a mis en évidence que si les patients déclarent que les informations fournies par l'équipe médicale sont cruciales pour leurs choix thérapeutiques, ils recherchent également des informations de leur côté pour compléter celles fournies par le corps médical, sans préciser quelles sont leurs sources d'information, ni leurs besoins informationnels précis.

Ainsi, parmi les patients atteints de mélanomes avancés (stades III et IV), suivant un traitement en situation adjuvante ou métastatique, nous pouvons nous demander : (1) Quels sont leurs besoins informationnels ? (2) Quelles sont leurs sources d'information en lien avec la/leur santé ? Quelle place Internet tient-il dans leurs recherches d'information par rapport aux autres sources possibles ? (3) Enfin, comment évaluent-ils la crédibilité des sources d'information auxquelles ils sont confrontés ? Ces questions sont importantes pour comprendre les besoins de ces patients et ainsi leur apporter une aide adaptée dans leur parcours de soin.

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, une étude exploratoire a été conduite auprès de patients atteints de mélanomes avancés que nous avons comparés à des personnes non atteintes par cette pathologie. La comparaison de ces deux groupes permettait de déterminer les compétences et connaissances spécifiques à la RI en santé sous-jacentes à la littératie en santé, que des patients en soin oncologique ont pu développer du fait de leur parcours de soin.

2. METHODE

2.1. Participants

La collecte de données, *via* des entretiens semi-directifs et des questionnaires, a eu lieu entre mars et mai 2022.

Les 22 participants de cette étude (12 femmes et 10 hommes), âgés de 25 à 75 ans (M = 59 ; ET = 18,1) étaient répartis en deux groupes :

- Groupe « Patients » : 13 participants (7 femmes, 8 hommes), de langue maternelle française, suivis pour un mélanome cutané, stade III ou IV, dans le service d'onco-dermatologie de l'Institut Universitaire du Cancer de Toulouse (IUCT). Ils étaient âgés de 48 à 75 ans (M=68.4, ET=8.21), sans tutelle, et recevaient un traitement par immunothérapie ou thérapie ciblée (en traitement adjuvant ou pour un mélanome métastatique). Les participants avaient un niveau d'étude allant du CAP/BEP à Bac+5.

- Groupe « Témoins » : 9 participants (5 femmes, 4 hommes), de langue française maternelle, âgés de 25 à 74 ans (M=47.3 ans, ET=21.5), n'ayant jamais souffert de cancer au cours de leur vie. Les participants avaient un niveau d'études allant de Bac+2 à Bac+5.

2.2. Procédure

Les 22 participants devaient tout d'abord remplir un formulaire de consentement libre et éclairé. Ensuite, des questions sur leurs habitudes de RI (notamment sur Internet) et sur leur pathologie (pour le groupe « Patients ») leur ont été posées.

Des entretiens semi-directifs individuels, d'environ 40 minutes, ont été conduits auprès de tous les participants (21 en présentiel et 1 en distanciel). Ces entretiens visaient à déterminer : les sources d'information, les comportements de RI en lien avec la santé, les raisons de ces recherches et les

indices utilisés par les patients pour évaluer la crédibilité des informations auxquelles ils étaient confrontés. Le choix du nombre de participants repose sur l'atteinte de la saturation des thèmes : 13 entretiens avec des patients et 9 avec des personnes-témoins ont été nécessaires.

2.3. Analyse des entretiens

Dans le cadre de l'analyse des verbatims obtenus, chaque déclaration qui renvoyait à une thématique a été découpée, de sorte que le codage des données a pu être multiple ou plurinominal, selon des critères de ressemblances/différences (Ayache & Dumez, 2011). Deux entretiens par groupe ont été codés par deux personnes (les deux premiers auteurs) pour obtenir un accord inter-juges sur les éventuelles hésitations de codage.

Le traitement des verbatims a été effectué en fonction des thématiques suivantes : a. Sources et comportements de RI en santé ; b. Besoins sous-jacents à ces recherches ; c. Indices pour évaluer la crédibilité des informations (en référence aux critères de HONcode et ceux définis par Chang et al., 2021).

Ainsi, les 5 indices suivants, dont certains se rapprochent de ceux de Honcode et de Chang et al. (2021), ont été pris en compte dans l'évaluation de la crédibilité des sources : (1) Le niveau de connaissances du site sur la thématique ou sur le domaine (i.e. le niveau de spécialité du site par rapport à la thématique traitée) ; (2) L'autorité qui alimente le site : un site web ou média reconnu, un expert du domaine ; (3) La présentation des informations : leur complexité ou simplicité, leur pertinence ; (4) Pour les participants : quand ils indiquent recouper les informations de différentes sources, et la récurrence d'apparition du site au cours des RI ; (5) La cohérence des informations présentées (i.e. lorsque les informations sont cohérentes entre elles).

3. RESULTATS

3.1. Sources d'informations (Tableau 1)

En termes de sources d'informations, Internet est la première source d'informations pour se renseigner sur la/leur santé pour le groupe Patients et la deuxième pour le groupe Témoins qui ont tous indiqué consulter les personnels de santé, contre seulement 23% pour le groupe Patients. Près d'un tiers des patients a mentionné consulter des revues scientifiques et/ou de vulgarisation contre un peu plus de 20% pour le groupe Témoins.

Tableau 1 :

Sources d'informations consultées par les participants des groupes Patients et Témoins

Sources d'informations liées à la santé	Patients (N=13)	Témoins (N=9)
Internet	6 (46%)	7 (78%)
Entourage	3 (23%)	2 (22%)
Personnel de santé	3 (23%)	9 (100%)
Revues scientifiques et/ou de vulgarisation	4 (31%)	2 (22%)

3.2. Besoins informationnels sous-jacents aux recherches d'informations en santé (Tableau 2)

Près de 40% des patients et 1 seul participant du groupe Témoin cherchaient à se renseigner sur les avancées et évolutions techniques et médicales : "Quand il m'arrive quelque chose, quand on me propose quelque chose, un traitement ou autre, je vais voir ce que c'est" (extrait, Femme, 60 ans, Patiente).

Cinq Patients (38%) et 2 Témoins (22%) recherchaient des informations également pour compléter celles fournies par les médecins suite aux consultations médicales : "En essayant d'aller voir d'autres sources d'informations. [...] Beaucoup sur Internet." (extrait, homme, 59 ans, Patient) ;

“J’avais cherché des informations, pour savoir quelles étaient les possibilités de soins [...] sur la maladie de Parkinson.” (extrait, femme, 70 ans, Témoin).

En outre, certains participants — 1 patient et 3 témoins — ont indiqué rechercher des informations afin de conseiller des personnes ou d’échanger sur leur/une pathologie : “J’essaie de rendre ce qu’on m’a donné.” (extrait, homme, 59 ans, Patient). Les témoins (33%) ont évoqué quant à eux souhaiter échanger avec un personnel de santé : “Quand je suis concernée, [...] je vais faire vérifier par mon médecin” (extrait, femme, 69 ans, Témoin).

Enfin, aucun des patients et seules 3 personnes du groupe Témoins (33%) ont indiqué rechercher des informations sur les thérapies afin de mieux les comprendre et les connaître : “Là, je regarde les gens qui l’ont eue [la pathologie concernée], qu’est-ce qu’ils ont eu comme intervention. Et les témoignages.” (extrait, femme, 69 ans, Témoin).

Tableau 2 : *Besoins informationnels évoqués par les participants relatifs à leurs recherches d’informations.*

	Patients (N=13)	**Témoins (N=9)**
Se renseigner sur les avancées/évolutions techniques et médicales (dont la recherche)	5 (38%)	1 (11%)
Compléter les informations fournies par les médecins suites aux consultations médicales	5 (38%)	2 (22%)
Conseiller des personnes/ échanger sur les pathologies (par ex. : prévention)	1 (8%)	3 (33%)
Informations sur les thérapies (traitements proposés) : comprendre, connaître les conséquences, le pronostic, effets secondaires possibles	0	3 (33%)
Informations pour aider à vivre avec la maladie/le mélanome	0	3 (33%)

3.3. Evaluation de la crédibilité des sources (Tableau 3)

L’ordre d’importance des indices dans l’évaluation de la crédibilité des sources diffère selon le statut des participants, avec un rôle dominant accordé à la cohérence des informations pour les patients, et au fait de recouper les informations provenant de différentes sources, pour les témoins.Par exemple, les patients ont accordé plus d’importance à la cohérence des informations, notamment au niveau de la présentation des informations : “y’a la façon dont c’est rédigé, qui nous paraît [...] pas très juste, quoi.” (extrait, homme, 75 ans, Patient). La cohérence des informations entre les sites est aussi soulignée : “Je regarde pas le nom de l’auteur, mais je vais aller voir ailleurs, pour voir [...] ce que va dire quelqu’un d’autre, et tout ça.” (extrait, homme, 67 ans, Patient).

Ensuite, plusieurs patients ont souligné l’importance de l’autorité de la source : “Le mec écrit l’article, mais qu’est-ce qui ne me dit pas qu’il est pas payé.” (extrait, homme, 67 ans, Patient) ; “[dans le cas d’une publication sur le site web d’un hôpital français] je me dis que bon, si ça a été publié, c’est que, quand même, y’a des gens qui ont vérifié.” (extrait, femme, 48 ans, Patiente). Six patients ont évoqué recouper les informations provenant de différentes sources : “Je vais aller voir ailleurs, je vais chercher.” (extrait, homme, 67 ans, Patient) ; “Je recoupe ces informations pour vérifier leur exactitude” (extrait, homme, 59 ans, Patient).

En outre, la complexité des informations, leur pertinence, et notamment leur abondance, est soulignée par 5 participants : “Y’a soit des choses sans intérêt, soit qui sont trop techniques, soit qui sont mal rédigées, ça arrive, aussi.” (extrait, homme, 72 ans, Patient).

Enfin, le niveau de connaissances du site web sur la thématique est évalué d'un point de vue subjectif pour les patients : "Mon ressenti" (extrait, femme, 71 ans, Patiente).

Les participants du groupe Témoins ont indiqué privilégier le recoupement des informations provenant de différentes sources : "Je croise les informations de différentes sources pour pouvoir déterminer si elle est fiable ou pas." (extrait, femme, 25 ans, Témoin). Pour 78% des participants, l'autorité apparaît comme un indice d'évaluation de la source: "En fonction de la source. [...] Les sites gouvernementaux, etc., je pense que j'aurais confiance, genre le Vidal, tout ça." (extrait, femme, 25 ans, Témoin). Deux personnes soulignent l'ordre d'apparition des sites : "Je sais que les sites les plus visités sont du coup en premier" (extrait, femme, 74 ans, Témoin). Ensuite, 67% ont accordé de l'importance à la présentation de l'information : "Ce n'est pas parce qu'il met tout un tas de jargon que je ne connais pas de but en blanc, qu'il est forcément fiable." (extrait, homme, 28 ans, Témoin). Enfin, comme pour le groupe Patients, le niveau de connaissance du site web est évoqué par 2 personnes : "C'est des sujets de santé, je regarde quand même les, si c'est... un... Si c'est l'État qui le, qui la produit. Si c'est des personnes, si c'est signé par un spécialiste de la santé." (extrait, homme, 42 ans, Témoin).

Tableau 3 : *Indices utilisés dans l'évaluation de la crédibilité d'une source pour les groupes Patients et Témoins (nombre et %)*

Indices	Patients (N=13)	Témoins (N=9)
1.Cohérence des informations	7 (54%)	3 (33%)
2.Autorité/crédibilité de la source, domaine général (site web/média connu/ reconnu), la personne qui alimente le site, sa date de création	6 (46%)	7 (78%)
3.Recouper les informations provenant de différentes sources, récurrence d'apparition du site au cours des recherches (ordre SERP)	6 (46%)	9 (100%)
4.Complexité ou simplicité des informations, beaucoup d'informations et peu d'entre elles pertinentes, difficultés pour choisir	5 (38%)	6 (67%)
5.Niveau de connaissances sur la thématique et/ou domaine	4 (31%)	2 (22%)

4. DISCUSSION

L'objectif de la présente étude était d'identifier les besoins informationnels, les sources d'informations et leur évaluation en termes de crédibilité par des patients atteints de mélanomes avancés recevant un traitement par immunothérapie ou thérapie ciblée, par comparaison avec des personnes non atteintes par cette pathologie et n'ayant pas souffert de cancer au cours de leur vie.

Les analyses descriptives mettent en évidence des différences entre les groupes Patients et Témoins. En effet, certains patients ont besoin d'informations, en plus de celles fournies par le personnel soignant, au cours de leur traitement ; de façon surprenante, seulement 23% d'entre eux ont indiqué se tourner à nouveaux vers eux (contre 100% pour le groupe témoins s'ils ont besoin de ce type d'informations autres qu'oncologiques). Ces besoins concernent plus particulièrement les avancées médicales qui peuvent être en lien avec leur pathologie mais aussi des informations pour compléter/approfondir celles données par le personnel soignant. En revanche, contrairement aux participants-témoins, les patients indiquent ne pas se renseigner sur les thérapies qui leur sont proposées (et qu'ils suivent), ni sur les informations pour les aider à mieux vivre la maladie.

Pour obtenir les informations dont ils avaient besoin au cours de leur parcours de soin oncologique, un peu moins de la moitié des patients (46%) indiquait consulter Internet, contrairement aux participants du groupe témoins qui consultaient à plus des deux tiers. Ce pourcentage pour les patients est certes inférieur à celui obtenu par Eng et al. (2020 ; autour de 80%) et Brütting et al. (2018) auprès de patients allemands atteints de mélanomes (63%) mais supérieur à celui de Bouhnik et al. (2018 ; autour de 25%). Plusieurs hypothèses explicatives peuvent être avancées, dont :

(1) Rechercher des informations en lien avec la santé est une activité cognitive complexe qui demande des habiletés liées à la littératie, telles que la compréhension, la sélection et l'évaluation des informations (Hernandez et al., 2018), que tous les individus, patients ou pas, n'ont pas forcément développées, en particulier pour les plus âgés d'entre eux (Sanchiz et al., 2020).

(2) Il est possible que certains patients n'aient pas osé indiquer qu'ils allaient sur Internet par crainte d'un jugement négatif, comme des travaux antérieurs l'ont montré (e.g. AlGhamdi & Almohedib, 2011).

(3) Pour certains patients, chercher des informations peut être une stratégie d'aide pour faire face (stratégie de coping), pour d'autres au contraire cela peut générer davantage d'anxiété (Eng et al., 2020) en particulier pour les personnes qui peuvent avoir une faible littératie en santé et peu de confiance dans leur capacité à trouver et comprendre les informations surtout si celles-ci sont complexes (e.g. Tan & Goonawardene, 2017 ; Ingledew et al., 2014). Ces personnes préfèreraient alors échanger avec leur médecin. Ce dernier point se retrouve au niveau des résultats concernant les indices pour évaluer la crédibilité des sources où 38% des patients ont indiqué que les informations étaient complexes et qu'ils rencontraient des difficultés pour faire des choix entre elles. D'autres patients ont indiqué faire confiance aux médecins et qu'ils n'allaient pas au-delà des consultations comme l'illustrent ces trois extraits : "Je fais confiance qu'aux médecins [de l'Oncopole] qui sont là" (Homme, 67 ans, Patient) ; "J'ai pas cherché plus loin. Je fais confiance, quoi." (Homme, 72 ans, Patient) ; "Quand le médecin dit quelque chose, [...] là je recherche pas. Je fais confiance." (Femme, 75 ans, Patiente). Une étude conduite en Allemagne en 2018 par Brütting et al., portant sur la recherche d'informations par des patients atteints de mélanome (majoritairement aux stades III-IV), va également dans ce sens, puisque la grande majorité des patients (81%) a déclaré que les consultations médicales constituaient la source d'information qu'ils utilisaient régulièrement ou fréquemment et certains attendaient que leur médecin les conseille sur les recherches d'informations qu'ils menaient.

Pour terminer, un autre résultat intéressant est le fait que près d'un tiers des patients ont souligné chercher des informations dans des revues scientifiques et/ou de vulgarisation, contre 22% pour les témoins. Ainsi, il semblerait que les patients aient pris conscience de l'intérêt de consulter des sources crédibles pour pouvoir combler leurs besoins informationnels et ainsi éviter d'être confrontés à des informations pouvant être à la fois erronées et anxiogènes (e.g. les forums de discussion).

5. CONCLUSION

Cette première étude apporte des éclaircissements importants sur le besoin d'informations, les sources pour obtenir ces informations et l'évaluation de celles-ci par des patients atteints de mélanome cutané en cours de traitement (malgré sa petite taille, l'échantillon est suffisant puisque la saturation des thèmes a été obtenue). Ces premiers résultats ouvrent de nouvelles réflexions et pistes de recherche à investiguer, en particulier :

- Déterminer plus précisément le rôle de certains facteurs comme l'âge ou le niveau de littératie en santé dans la RI et l'évaluation des sources, en observant les patients en situation réelle de recherche d'informations (sur la base de leurs besoins).
- Etudier l'impact de ces recherches et des connaissances (plus ou moins adéquates) qu'ils peuvent développer sur leur relation avec le personnel soignant. Une première étude conduite par Neill et al. (2020) auprès de patients atteints de mélanome montre que surestimer leurs connaissances et compétences peut conduire ces patients à ne pas demander d'explications aux médecins et ainsi nuire à la compréhension de leur pathologie.
- Déterminer l'impact de ces recherches sur leur parcours de soin et notamment sur leur participation aux décisions de soin, leur adhérence thérapeutique et leur qualité de vie.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les participants pour le temps et l'intérêt qu'ils ont accordés à cette étude.

7. BIBLIOGRAPHIE

AlGhamdi, K. M., & Almohedib, M. A. (2011). Internet use by dermatology outpatients to search for health information. *International Journal of Dermatology, 50*(3), 292-299. https://doi-org.inshs.bib.cnrs.fr/10.1111/j.1365-4632.2010.04705.x

Ayache, M., & Dumez, H. (2011). Le codage dans la recherche qualitative une nouvelle perspective ? *Le Libellio d'AEGIS, 7*(2), 33 46. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00657490/

Barailler, H., Salomon, G., Dutriaux, C., Prey, S., Gérard, E., Dousset, L., Mertens, C., Beylot-Barry, M., Meyer, N., & Pham-Ledard, A. (2020). Adverse events, need for hospitalization and systemic immunosuppression in very older patients (over 80 years) treated with anti-PD-1 for metastatic melanoma. *Journal of Geriatric Oncology, 11*(8), 1340-1343. https://doi.org/10.1016/j.jgo.2020.03.003

Bouhnik, A.-D., Mancini, J., Ousseine, Y., Preau, M., & Rousseau, S. (2018). *Recherche d'informations et littératie en santé. La vie cinq ans après un diagnostic de cancer*, 246-260, Rapport INCa.

Broom A. (2005). Virtually he@lthy: the impact of internet use on disease experience and the doctor-patient relationship. *Qualitative Health Research, 15*(3), 325-45. doi: 10.1177/1049732304272916

Brütting, J., Reinhardt, L., Bergmann, M., Schadendorf, D., Weber, C., Tilgen, W., Berking, C., & Meier, F. (2018). Quality, Readability, and Understandability of German Booklets Addressing Melanoma Patients. *Journal of Cancer Education, 34*(4), 760-767. https://doi.org/10.1007/s13187-018-1369-x

Chang, Y.-S., Zhang, Y., & Gwizdka, J. (2021). The effects of Information Source and eHealth Literacy on Consumer Health Information Credibility Evaluation Behavior. *Computers in Human Behavior, 15*, 106629. doi:10.1016/j.chb.2020.106629

Chung, J.E. (2013). Patient–Provider Discussion of Online Health Information: Results From the 2007 Health Information National Trends Survey (HINTS). *Journal of Health Communication, 18*(6), 627-648. https://doi.org/10.1080/10810730.2012.743628

Eng, L., Bender, J., Hueniken, K., Kassirian, S., Mitchell, L., Aggarwal, R., Paulo, C., Smith, E. C., Geist, I., Balaratnam, K., Magony, A., Liang, M., Yang, D., Jones, J. M., Brown, M. C., Xu, W., Grover, S. C., Alibhai, S. M., Liu, G., & Gupta, A. A. (2020). Age differences in patterns and confidence of using internet and social media for cancer-care among cancer survivors. J*ournal of Geriatric Oncology, 11*(6), 1011-1019. https://doi.org/10.1016/j.jgo.2020.02.011

Faury, S., Rullier, E., Denost, Q., & Quintard, B. (2020). Quality of life and fatigue among colorectal cancer survivors according to stoma status - the national VICAN survey. *Journal of Psychosocial Oncology, 38*(1), 89-102. https://doi.org/10.1080/07347332.2019.1638481

Guillot, B., Dupuy, A., Pracht, M., Jeudy, G., Hindie, E., Desmedt, E., Jouary, T., & Leccia, M. T. (2019). Actualisation des données concernant le mélanome stade III: nouvelles recommandations du groupe français de cancérologie cutanée. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie, 146*(3), 204-214. https://doi.org/10.1016/j.annder.2019.01.011

Hernández, M. A., Sharit, J., Pirolli, P., & Czaja, S. J. (2018). Adapting Information Search Tools for use by Health Consumers: Challenges and Lessons for Software Designers. *International Journal of Human–Computer Interaction, 34*(5), 445-456. DOI: 10.1080/10447318.2017.1358546

HONcode : Principes - Information de santé de confiance et de qualité. (s. d.). HONCode. Consulté le 11 juin 2022, à l'adresse https://www.hon.ch/HONcode/French/

INCa (2021). *Panorama des cancers en France*. Rapport INCa. https://www.e-cancer.fr/pdf_inca/preview/303372/4327939/file/Panorama%20des%20cancers%20en%20France_2021.pdf

Ingledew, P., El-Zammar, D., Scali, E., Brar, B., Lin, J., Yu, I., & Gusnowski, E. (2014). Caught in the Web: The Quality of Online Resources for Cancer Patients. *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics, 90*(1), S604. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2014.05.1808

Livingstone, A., Milne, D., Dempsey, K., Muscat, D. M., Menzies, A. M., Howard, K., Stockler, M. R., & Morton, R. L. (2021). Should I Have Adjuvant Immunotherapy? An Interview Study Among Adults with Resected Stage 3 Melanoma and Their Partners. *The Patient - Patient-Centered Outcomes Research, 14*(5), 635-647. https://doi.org/10.1007/s40271-021-00507-1

Neill, B. C., Golda, N., Seger, E. W., Wick, J., Whitsitt, J., Huber, A., Chu, T., Potts, G. A., Chow, P., Moore, S., Fakhoury, J. W., Rajpara, A., & Hocker, T. L. (2020). Determining patient understanding of commonly used dermatology terms : A multicenter cross-sectional survey. *Journal of the American Academy of Dermatology, 83*(3), 933-935. https://doi.org/10.1016/j.jaad.2020.01.016

Pulido, M., Paillaud, E., Galvin, A., Soubeyran, P., Lalet, C., Doublet, S., Hue, L., & Mathoulin-pelissier, S. (2022). Littératie en santé : Étude nationale chez des patients avec un cancer (LICAPA). *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique, 70*, S101. https://doi.org/10.1016/j.respe.2022.03.029

Rieh, S. Y. (2002). Judgment of information quality and cognitive authority in the Web. *Journal of the American Society for Information Science and Technology, 53*(2), 145-161. https://doi.org/10.1002/asi.10017

Sanchiz, M., Amadieu, F., & Chevalier, A. (2020). *An evolving perspective to capture individual differences related to fluid and crystallized abilities in information searching with a search engine*. In W.-T. Fu & H. van Oostendorp (Eds.). *Understanding and Improving Information Search: A Cognitive Approach* (pp. 71-96). Berlin: Springer.

Sibaud, V., Baric, L., Cantagrel, A., di Palma, M., Ederhy, S., Paques, M., & Perlemuter, G. (2021). Gestion des toxicités des inhibiteurs BRAF et MEK dans le mélanome métastatique. *Bulletin du Cancer, 108*(5), 528-543. https://doi.org/10.1016/j.bulcan.2020.12.014

Tan, S. S. L., & Goonawardene, N. (2017). Internet Health Information Seeking and the Patient-Physician Relationship: A Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research, 19*(1), e9. https://doi.org/10.2196/jmir.5729

CC : *Application de Mobilité-en-tant-que-Service (MaaS) et gamification : influence de la quête sur le choix du mode de transport*

Eugénie Avril[1], Céline Lemercier[2], Amaël Arguel[2] & Loïc Caroux[2]

[1] UPHF, CNRS, UMR 8201 - LAMIH, F-59313 Valenciennes, France Eugenie.avril@uphf.fr

[2] CLLE, UMR 5263 CNRS - Université Toulouse Jean-Jaurès, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse Cedex 9 {celine.lemercier ; amael.arguel ; loic.caroux}@univ-tlse2.fr

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif d'étudier l'influence de la présence de la gamification sur le choix de transport dans une application de « mobilité-en-tant-que-service » (MaaS). Nous nous sommes focalisés sur les effets de la quête, un élément de gamification qui consiste en la réalisation de missions par le joueur, sur les choix de transport et la motivation des usagers. Cent-six usagers ont participé à cette étude expérimentale par scénarios en ligne. Ceux-ci ont été confrontés à des scénarios dans lesquels ils utilisaient une application de mobilité gamifiée ou non gamifiée, leur proposant de choisir entre plusieurs possibilités pour effectuer leur trajet. Les participants devaient choisir un mode de transport, associé à un temps de trajet, parmi plusieurs possibilités pour douze déplacements. Les résultats montrent que la quête a permis d'influencer le choix de modes de transport des participants. La motivation a également été influencée, notamment dans sa dimension de « besoin de compétence » lié à l'accomplissement de la quête.

MOTS-CLÉS

Gamification, Quête, Transport, Application MaaS, Motivation

1. INTRODUCTION

De nos jours, bien que les opérateurs de transport permettent à leurs utilisateurs d'utiliser plusieurs modes de transports grâce à un seul ticket, ces derniers n'intègrent pas forcément l'ensemble des services proposés dans une ville : véhicules partagés, vélos libre-service… Dans ce contexte, les applications MaaS sont apparues. Leur principale caractéristique est de centraliser un maximum de types de transports et de services à travers une seule plateforme numérique (Hasselwander et al., 2022). Ce large choix de transports offre également la possibilité de réduire les embouteillages et la pollution, en explicitant le champ des possibilités de transports aux utilisateurs. Outre ces aspects d'optimisations du trafic, ce choix peut avoir un impact écologique lorsque des transports plus soutenables sont choisis pour se déplacer. Ainsi, comprendre la façon dont le choix de transport est opéré est devenu un enjeu important. Parmi les facteurs impactant ce choix, l'intégration de la gamification dans l'application apparait prometteuse.

La gamification est définie comme l'intégration d'éléments de jeu dans un contexte autre que le jeu (Deterding et al., 2014). Il a été montré que la gamification pouvait influencer les habitudes de transports des utilisateurs d'applications MaaS. L'implication de la gamification sur la motivation des utilisateurs à adopter tel ou tel comportement est un facteur cité régulièrement. La théorie de la motivation de l'autodétermination (Ryan & Deci, 2017) est la plus utilisée. Cette théorie implique trois besoins fondamentaux qui, s'ils sont satisfaits, permettent à l'individu d'atteindre une motivation intrinsèque : (i) le besoin d'autonomie où un individu a besoin de se sentir libre dans ses choix ; (ii) le besoin d'appartenance sociale où un lien avec les autres est nécessaire ; et (iii) le besoin de

compétence où l'individu a un besoin de maîtrise sur ses actions, d'avoir un sentiment d'efficacité et d'action sur son environnement Plusieurs études ont montré que les différents éléments de gamification pouvaient participer à l'accomplissement de besoins spécifiques (Sailer et al., 2017). De même, il serait possible d'identifier des profils de joueurs qui permettraient de prédire et d'expliquer l'influence de ces différents éléments sur leurs comportements (Tondello et al., 2019). Cependant, ces éléments de gamification ne sont presque jamais isolés et les effets de chacun d'eux sur la motivation restent flous. Aujourd'hui, « la rémunération par points » constitue l'élément de gamification le plus utilisé pour induire un sentiment d'accomplissement qui influencerait le besoin de compétence de l'utilisateur (Koivisto & Hamari, 2019). Pourtant, d'autres éléments cités dans la littérature influenceraient également ce besoin de compétence. Parmi ces artéfacts, la quête s'avère une piste de gamification intéressante. La quête est définie comme « un ensemble de tâches à accomplir par le joueur. Cet ensemble de tâches représente l'intrigue de la quête (i.e., le scénario) » (de Lima et al., 2019). Ainsi, la gamification pourrait être un élément intéressant pour motiver des utilisateurs à utiliser des modes de transport plus écologiques. Notre étude vise à investiguer si la présence d'une quête dans une application de mobilité peut influencer le choix de transport des utilisateurs. De plus, quel besoin psychologique peut être satisfait par la quête ? Nous supposons que la présence d'une quête influence le choix du mode de transport dans le cadre de l'utilisation d'une application MaaS : le mode de transport associé à l'accomplissement de la quête serait alors plus souvent choisi que ceux qui n'y sont pas associés. Enfin, nous nous attendons à une plus grande satisfaction du besoin de compétences pour les participants inclus dans une condition expérimentale d'application gamifiée incluant des objectifs de quête.

2. METHODE

2.1. Participants

106 participants (66 femmes et 40 hommes) âgés de 18 à 61 (M = 29.5, ET = 9.9) ont participé à l'étude. Avant l'expérience, tous les participants ont lu et signé un formulaire de consentement. Il n'y a pas eu de récompenses, ni de compensation pour la participation à cette étude.

2.2. Matériel

L'expérimentation a été réalisée en ligne en utilisant la plateforme Qualtrics. Chaque participant était mis en contexte avec une mise en situation principale : le participant devait s'imaginer dans une situation où il utilisait une application MaaS pour se déplacer afin de préparer une fête pour son meilleur ami. Il devait donc se rendre à la salle des fêtes mais avant cela, il lui restait des courses à faire et du matériel à récupérer.

2.3. Plan expérimental et procédure

Il y avait deux conditions expérimentales (VI : avec ou sans gamification ; condition inter-participants). Dans chaque condition, gamifiée ou non, le Mode de Transport (MT à 3 modalités : VTC, Bus et Métro), ainsi que le Durée (D) de trajet estimée (à 2 modalités : 10 minutes ou 20 minutes) étaient manipulés (conditions intra-sujets). Dans la condition gamifiée, une VI supplémentaire concernait le type d'élément recueilli lors du déplacement (en lien avec la quête ou non). Il y avait 12 éléments liés à la quête (ex. des assiettes, une pelle à pizza…) et 12 éléments non-liés (ex. un jeu d'échec, une paire de rollers…). La gamification dans l'application consistait à aider un personnage virtuel dont l'histoire évolue en parallèle des déplacements du participant. Ce personnage était un oiseau qui souhaitait préparer une pizza. Afin de préparer sa pizza, l'oiseau devait regrouper 12 éléments de cuisine. Le participant pouvait aider le personnage en participant à cette quête. Lors de chaque déplacement, le participant avait le choix entre utiliser un mode de transport lui attribuant un élément en lien avec la cuisine, ou un élément qui n'etait pas en lien. Afin de réussir la quête (cuisiner la pizza), le participant devait obligatoirement regrouper les 12 éléments en lien avec la cuisine.

Concrètement, cela veut dire que le participant devait choisir l'ensemble des trajets lui permettant de récolter l'objet en lien avec la quête pour réussir celle-ci (préparer la pizza). En ce qui concerne les scénarii gamifiés et non gamifiés, pour chacun des 12 déplacements, deux combinaisons de choix de transports étaient proposées. Nous entendons donc par combinaison l'association entre un mode de transport (bus, métro ou VTC) et le temps de déplacement afférent (10 ou 20 minutes), figure 1.

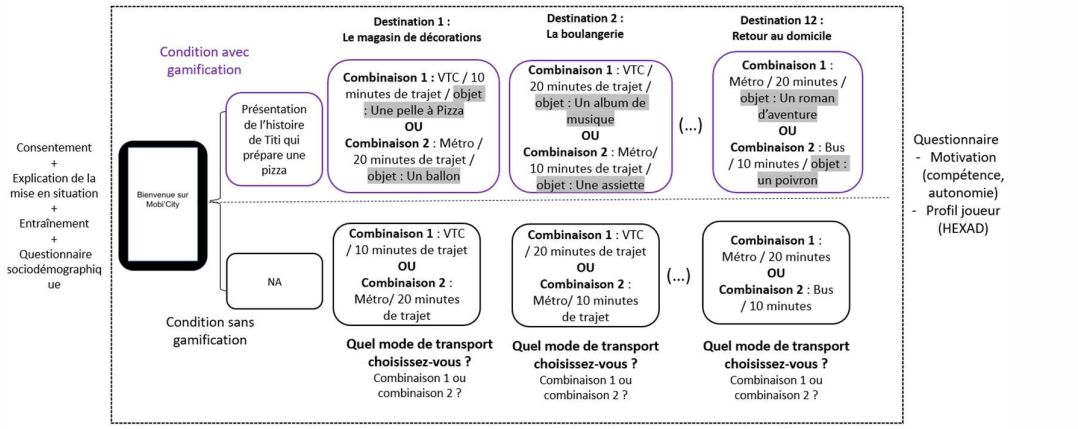


Figure 1 : Vue générale du plan expérimental (VI avec et sans gamification) et de la procédure

2.4 Mesures

Les mesures recueillies étaient de deux ordres : (1) le choix du mode de transport : pour chacun des 12 déplacements, le participant devait choisir un mode transport parmi une paire de 2 modes de transports possibles ; (2) Les besoins de compétence et d'autonomie ont été évalués à l'aide de quatre échelles de Likert en 7 points chacun (1 = pas du tout et 7 = tout à fait). Les items étaient adaptés de l'inventaire de motivation intrinsèque proposé par Ryan (1982) pour le besoin de compétence (e.g., « je pense que je suis plutôt bon pour utiliser cette application »), ainsi que l'échelle proposée par Vlachopoulos et Michailidou (2006) pour le besoin en autonomie (« l'utilisation de cette application est tout à fait compatible avec mes choix et mes intérêts »).

3. RESULTATS

En ce qui concerne le traitement, le mode de transport choisi par le participant était codé 1 et celui qui n'était pas choisi était codé 0. En raison de ce codage, le traitement statistique présenté par la suite se focalise sur l'interaction entre la VI mode de transport et gamification. L'effet simple de la gamification ne sera pas utilisé dans cette étude puisque les moyennes sont de fait M = 0.5, ET = 0 dans chaque condition avec gamification ou non. Il y a une interaction entre la gamification et le mode de transport, $F(2,208) = 5.41$, $p < .005$, $n^2p = 0.049$. Dans la condition avec application non gamifiée, il y a une différence significative de choix de mode de transport entre le bus (M = 0.63, ET = 0.22) et le VTC (M = 0.24, ET = 0.24), t(104) = 6.7322, $p < .001$. Il y a également une différence de choix de mode entre le métro (M = 0.62, ET = 0.18) et le VTC (M = 0.24, ET = 0.24), t(104) = 7.4823 $p < .001$ (figure 2). Ces différences sont également significatives dans la condition avec application gamifiée, d'une part entre le bus (M = 0.59, ET = 0.19) et le VTC (M = 0.37, ET = 0.24), t(104) = 3.9392, p = .002, et d'autre part entre le métro (M = 0.53, $E\,T$= 0.16) et le VTC, t(104) = 3.1664, p = .024. Cependant ces différences sont réduites dans la condition de l'application gamifiée par rapport à celle de l'application non-gamifiée. Des analyses complémentaires seront présentées lors d'Epique. Concernant les participants de la condition avec gamification (N = 54), la gamification a permis de mieux satisfaire le besoin de compétence : les participants ayant choisi les modes de transport permettant la validation de la quête ont ressenti un besoin de compétence plus élevé (M = 4.69, ET = 2.08) que les participants n'ayant pas validé la quête (M = 2.17, ET = 2.08, $F(1,52) = 22.4$, $p < .001$, $n^2p = 0.301$). Enfin, une corrélation positive

entre le nombre d'objets pertinents pour la quête récupérés par les participants et le sentiment de compétence ($r(58) = 0.503$, $p < .001$) est observée. Plus le nombre d'objets pertinents par rapport à la quête sont récupérés, plus les participants satisfont un besoin de compétence.

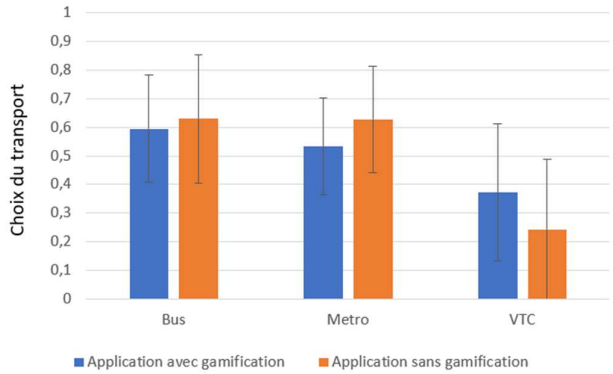


Figure 2 : Choix du trajet de transport en fonction des 3 modes de transport et de la condition gamifiée.

4. DISCUSSION

Cette étude a permis de mettre en évidence que la quête est un élément de gamification qui peut influencer les intentions de choix de mobilité. Bien que cette dernière soit déterminée par de multiples facteurs tels que la présence de parkings ou la météo, la gamification peut également être un levier pour induire un choix de transport particulier. Ce résultat est encourageant pour de nouveaux systèmes comme les applications MaaS, puisque cela montre que la conception gamifiée peut aider à soutenir des enjeux sociétaux de décarbonisation et de décongestion, tout en améliorant l'expérience des utilisateurs. Le besoin de compétence est également corrélé au nombre d'éléments récupérés pertinents pour la quête, les participants choisissant des objets en lien avec la quête ont éprouvé plus fortement avoir assouvi leur besoin de compétence. Ce résultat est intéressant puisque les études sur le besoin de compétence ont tendance à se focaliser sur un autre élément de gamification : les points. Ainsi, la quête semble également être un élément de gamification à investiguer dans de futures études. Les futures analyses des profils de joueurs pourront également permettre de voir si ce besoin de compétence a été plus satisfait selon les profils des utilisateurs. Une future perspective pourrait être d'étudier l'influence de la quête sur une application mobile et dans une mise en situation plus écologique. Ces futures études pourraient considérer des méthodes telles que la verbalisation simultanée ou l'entretien d'explicitation, afin d'obtenir une meilleure compréhension de l'expérience des utilisateurs avec de tels dispositifs.

5. BIBLIOGRAPHIE

De Lima, E. S., Feijó, B., & Furtado, A. L. (2019). Procedural Generation of Quests for Games Using Genetic Algorithms and Automated Planning. *SBGames*, 144-153.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2014). Du game design au gamefulness : Définir la gamification. *Sciences du jeu*, *2*.

Hasselwander, M., Bigotte, J. F., Antunes, A. P., & Sigua, R. G. (2022). Towards sustainable transport in developing countries: Preliminary findings on the demand for mobility-as-a-service (MaaS) in Metro Manila. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *155*, 501-518. https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.11.024

Koivisto, J., & Hamari, J. (2019). The rise of motivational information systems: A review of gamification research. *International Journal of Information Management*, *45*, 191-210. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.013

Ryan, R. M. (1982). Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory. *Journal of personality and social psychology*, *43*(3), 450.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. Guilford Publications.

Sailer, M., Hense, J. U., Mayr, S. K., & Mandl, H. (2017). How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in human behavior*, *69*, 371-380.

Tondello, G. F., Mora, A., Marczewski, A., & Nacke, L. E. (2019). Empirical validation of the gamification user types hexad scale in English and Spanish. *International Journal of Human-Computer Studies*, *127*, 95-111.

Vlachopoulos, S. P., & Michailidou, S. (2006). Development and initial validation of a measure of autonomy, competence, and relatedness in exercise: The Basic Psychological Needs in Exercise Scale. *Measurement in physical education and exercise science*, *10*(3), 179-201.

CC : *Les théories implicites sous la loupe des mesures physiologiques dans l'apprentissage multimédia*

Mariyem Ahmida[1] & Laure Léger[2]
[1]LINP2-2APS, université Paris Nanterre, a.mariyem@parisnanterre.fr
[2]LINP2-2APS, université Paris Nanterre, laure.leger-chorki@parisnanterre.fr

RÉSUMÉ

Les apprenants peuvent soit croire que leur intelligence est fixe, théorie de l'entité de l'intelligence, soit que leur intelligence est malléable, théorie incrémentielle de l'intelligence. Selon leurs croyances, les apprenants réagissent différemment face aux messages d'erreur. Cette étude a comme objectif de caractériser la réaction des apprenants face à un message d'erreur en fonction de leur théorie implicite de l'intelligence en utilisant des mesures physiologiques. Les mesures oculaires ont permis de mettre en évidence des différences en termes d'attention portée sur le message d'erreur tandis que les mesures de rythme cardiaque, ont pu montrer les émotions suscitées par celui-ci.

MOTS-CLÉS

Théories implicites de l'intelligence, apprentissage, attention, erreur, mesures physiologiques.

1. INTRODUCTION

L'erreur est une opportunité pour apprendre ; c'est une source d'information pertinente pour réajuster une mauvaise interprétation du monde. Cependant l'erreur, selon les croyances des individus, n'est pas toujours perçue comme telle. En utilisant des mesures physiologiques, cette étude a comme objectif de caractériser les réactions des apprenants face aux messages d'erreur, délivré par un module d'apprentissage, en fonction de leurs théories implicites sur l'intelligence. Avoir une meilleure compréhension des réactions face aux messages d'erreurs va permettre de personnaliser les modules d'apprentissage pour que tous les apprenants, quelle que soit leur théorie implicite sur l'intelligence, puissent prendre en considération l'information fournie par le message d'erreur et donc apprendre.

Les travaux de Dweck (1986, 1999) ont mis en évidence deux théories implicites de l'intelligence : la théorie de l'entité et la théorie incrémentielle. Les apprenants avec une théorie incrémentielle croient que l'intelligence peut être développée. Ces individus considèrent que le cerveau est malléable et que les erreurs sont des opportunités pour apprendre. En revanche, les individus avec une théorie de l'entité considèrent que leur intelligence est innée et qu'il n'est donc pas possible de la développer. Pour eux, il ne sert à rien de fournir des efforts dès lors qu'ils ne sont pas doués pour une discipline. Dans cette perspective, ils considèrent l'erreur comme une preuve de leur incompétence. Pour les apprenants avec une théorie de l'entité, l'erreur n'est pas une opportunité mais plutôt une menace qui génère des émotions négatives comme du stress ou de l'anxiété (Cimpian, 2010). Pour faire face à ces émotions négatives, les apprenants avec une théorie de l'entité peuvent adopter des comportements d'autoprotection (Zentall et Junglen, 2017). Ainsi Schröder et al. (2017) ont montré que les personnes avec une théorie de l'entité portent moins leur attention sur le message d'erreur que les personnes avec une théorie incrémentielle.

Plusieurs études ont étudié, en utilisant principalement des mesures comportementales, les liens entre les théories implicites de l'intelligence et la motivation, l'accomplissement et les

performances académiques. Mais les processus sous-jacents à ces liens restent à clarifier (Zentall et Junglen, 2017). Ces auteurs préconisent l'utilisation des mesures physiologiques pour étudier comment les théories implicites de l'intelligence peuvent influencer le comportement. En utilisant des mesures oculaires et de rythme cardiaque, cette étude permet de compléter la littérature sur les théories implicites de l'intelligence en se focalisant sur les réactions émotionnelles et attentionnelles face aux messages d'erreur délivré par le module d'apprentissage et leur impact sur l'apprentissage.

Les hypothèses générales suivantes ont été émises :

H1. L'attention portée sur le feedback devrait être différente en fonction de la théorie implicite de l'intelligence des apprenants et du type de feedback. Plus précisément il est attendu que les apprenants avec une théorie de l'entité soient moins attentifs aux messages d'erreurs que les apprenants avec une théorie incrémentielle et ceci surtout pour les messages explicatifs.

H2. Les apprenants avec une théorie de l'entité devraient éprouver du stress face au feedback d'erreur. Ceci devrait se traduire par une différence au niveau de la variabilité cardiaque entre la période de repos et le moment du feedback. Cette différence ne devrait pas être observée pour les apprenants avec une théorie incrémentielle.

H3. Dans la mesure où les apprenants faisant attention aux messages d'erreurs vont s'en servir pour apprendre, le score d'apprentissage devrait être plus élevé pour les apprenants avec une théorie incrémentielle par rapport aux apprenants avec une théorie de l'entité.

2. METHODE

2.1. Participants

Vingt-sept étudiant·e·s (85% F) en 1ère année de licence en psychologie ont été recruté·e·s pour cette expérience. Les participant·e·s étaient majoritairement droitier·e·s (90%), âgé·e·s de 18 à 48 ans (*M*=20.56 ans, *EC*=5.87). Leur vision était normale ou corrigée. Leur participation était rétribuée par 2.5 points de crédits pour un enseignement de méthode expérimentale.

2.2. Matériel

2.2.1. Module d'apprentissage et messages d'erreur

Une vidéo sur les neurosciences de l'imagination d'une durée de 10 minutes découpées en 3 parties a été construite. A la fin de chaque partie, 3 questions type QCU ont été insérées. Chaque question était suivie par 2 feedbacks : un feedback évaluatif (KR) qui précisait la justesse de la réponse donnée par le participant et un feedback informatif qui présentait la bonne réponse (KCR) suivi d'une explication (Info).

2.2.2. Questionnaires

Deux questionnaires ont été utilisés pour cette expérience :

- ***Théories implicites de l'intelligence*** mesurées par une version française validée de l'échelle issue de De Castella et Byrne (2015) qui comprend 8 items : 4 items mesurant théorie de l'entité et 4 items mesurant la théorie incrémentielle sur une échelle de Likert à 6 points. Les items mesurant la théorie incrémentielle ont été inversé et ont été additionnés aux items mesurant la théorie de l'entité pour créer un score global. La médiane de ce score permet de partager l'échantillon en deux groupes : un groupe incrémentiel, score inférieur à la médiane, et un groupe entité, score supérieur à la médiane.

- ***Questionnaire d'apprentissage*** comprend 15 questions à choix unique, 9 questions provenant du module et 6 nouvelles questions. La différence entre le score obtenu pendant le module et le score obtenu à ce questionnaire permet de calculer le gain d'apprentissage.

2.2.3. Mesures physiologiques

Les Mouvements oculaires ont été enregistrés par le oculomètre Tobii pro Nano. Basé sur la technique du reflet cornéen son taux d'échantillonnage est de 60Hz. La barre a été positionnée à 60 cm d'une mentonnière qui permettait de reposer la tête du participant.

Le Rythme cardiaque a été relevé avec le capteur sans fil TEA CAPTIV T-SENS ECG, avec un taux d'échantillonnage de 256Hz. Deux électrodes ont été positionnées directement sur le thorax des participants.

2.3. Procédure

Après avoir signé le formulaire de consentement, les participant·e·s étaient installé·e·s confortablement dans la mentonnière face à l'écran et les capteurs sur le torse. Après 5 min de repos, l'oculomètre a été calibré en 9 points. Les participant·e·s démarraient ensuite la tâche expérimentale. Celle-ci consistait à suivre un module d'apprentissage sur les neurosciences de l'imagination et à répondre aux différentes questions sur la leçon. Les données physiologiques et oculaires ont été récoltées durant toute la visualisation du module. Après l'arrêt de l'enregistrement des données physiologiques, les participant·e·s répondaient au questionnaire d'apprentissage puis à l'échelle des théories implicites. La durée d'une passation était d'environ 45 min.

2.4. Design expérimental

Un plan expérimental mixte 2x3 a été utilisé pour cette étude avec la théorie implicite (de l'entité vs incrémentielle) en facteur inter sujet et feedback (évaluatif, informatif bonne réponse, informatif explication) en facteur intra sujet. Les variables dépendantes sont le gain d'apprentissage, le nombre de fixations sur les messages, la variabilité cardiaque.

3. RESULTATS

Les différentes analyses ont été réalisées sur les feedbacks de réponse incorrecte.

H1. Effet de la théorie implicite et du type de feedback sur l'attention portée au feedback

Un modèle mixte de Poisson a été ajusté, sur les données de 21 participant·e·s, avec une validité oculaire suffisante, pour tester l'effet des théories implicites et du type de feedback sur le nombre de fixations dans l'aire contenant le message. Le pouvoir lié aux effets fixes était de R^2 = 0.44.

Les participant·e·s avec une théorie incrémentielle ont un nombre de fixations (Figure 1), dans l'aire contenant le message, plus élevé que les participant·e·s avec une théorie de l'entité (*bêta* = 0,69, *IC 95 %* [0.04, 1.34], *p* = 0.037 ; *bêta std.* = 0.69, *IC 95 %* [0,04, 1,34]). La différence entre les deux théories

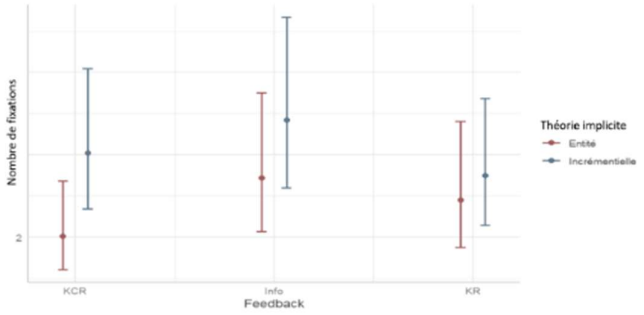


Figure 16 : Le nombre de fixations en fonction du feedback et de la théorie implicite.

implicites, en termes de nombre de fixations, est plus élevée pour le feedback KCR comparativement au feedback KR (*bêta* = -0.51, 95% CI [-0.98, -0.03], p = 0.037 ; *bêta std* = -0.51, *IC 95%* [-0.98, -0.03]).

H2. Effet de la théorie implicite de l'intelligence sur la réaction émotionnelle

Le RMSSD, indicateur de la variabilité cardiaque, au moment du feedback (*M* = 28.3, *SD* = 21.1) des participant·e·s avec une théorie de l'entité est significativement inférieur (*w*=52, *p*=0.013, *d*=0.45) au RMSSD pendant la période de repos (*M* = 38.1, *SD* = 14.5). Cette différence n'est pas observée chez les participant·e·s avec une théorie incrémentielle (*w*=75, *p*=0.954).

H3. Effet de la théorie implicite de l'intelligence sur le score.

Les participant·e·s avec une théorie incrémentielle ont eu un gain d'apprentissage (*M* = 2.69, *SD* = 1.31) plus élevé que les participant·e·s avec une théorie d'entité (*M* = 1.71, *SD* = 1.43). Cependant, cet effet reste tendanciel, *w*=52, *p*=0.053, *d*=0.37.

4. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'étudier l'effet des théories implicites sur les réactions face au message d'erreur et l'apprentissage. Les résultats ont montré que l'attention portée sur le message d'erreur dépend non seulement de la théorie implicite des apprenants mais aussi du type de message. Les apprenants avec une théorie incrémentielle portent plus leur attention sur le feedback en général et sur le feedback informatif en particulier (la bonne réponse et les explications) que les apprenants avec une théorie de l'entité. Ces résultats vont dans le sens de Schröder et al. (2017). Comme les apprenants avec une théorie de l'entité considèrent que leurs compétences sont innées (Dweck, 1986), porter son attention sur l'information fournie par le message d'erreur ne leur semble pas nécessaire contrairement aux apprenants avec une théorie incrémentielle qui pensent que leurs compétences peuvent se développer. Ces mêmes apprenants considèrent le message d'erreur comme une preuve de leur incompétence. La diminution de la variabilité cardiaque chez les apprenants avec une théorie de l'entité, au moment du feedback, indique que ce message est source de stress. En effet, en cas de stress mental le RMSSD a tendance à diminuer (Hilgarter et al., 2021). Etant stressé, les apprenants avec une théorie de l'entité se désengage de la tâche et donc porte moins attention aux informations fournies. Cette attention portée sur le message d'erreur, différente selon les théories implicites, peut expliquer la différence au niveau de l'apprentissage. Faire attention aux informations fournies par le message d'erreur permet aux apprenants avec une théorie incrémentielle de corriger leurs erreurs et d'avoir de meilleures performances par la suite. La suite de ce travail de recherche serait de trouver des moyens pour inciter les apprenants avec une théorie de l'entité à traiter et prendre en compte ces messages d'erreurs.

5. BIBLIOGRAPHIE

Cimpian, A. (2010). The impact of generic language about ability on children's achievement motivation. *Developmental psychology*, *46*(5), 1333

De Castella, K., & Byrne, D. (2015). My intelligence may be more malleable than yours: The revised implicit theories of intelligence (self-theory) scale is a better predictor of achievement, motivation, and student disengagement. *European Journal of Psychology of Education*, *30*, 245-267.

Dweck, C. S. (1986). Motivational processes affecting learning. *American psychologist*, *41*(10), 1040.

Dweck, C. S. (1999). Self-theories: their role in motivation, personality and development. *Philadelphia PA: Taylor & Francis*.

Hilgarter K, Schmid-Zalaudek K, Csanády-Leitner R, Mörtl M, Rössler A, Lackner HK. Phasic heart rate variability and the association with cognitive performance: A cross-sectional study in a healthy population setting. PLoS One. 2021 Mar 1;16(3):e0246968. doi: 10.1371/journal.pone.0246968. PMID: 33647023; PMCID: PMC7920382.

Schroder, H. S., Fisher, M. E., Lin, Y., Lo, S. L., Danovitch, J. H., & Moser, J. S. (2017). Neural evidence for enhanced attention to mistakes among school-aged children with a growth mindset. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *24*, 42-50.

Zentall, S. R., & Junglen, A. G. (2017). Investigating Mindsets and Motivation through Eye Tracking and Other Physiological Measures. In *Eye-Tracking Technology Applications in Educational Research* (pp. 48-64). IGI Global.

CC : *La méditation : une aide aux apprentissages multimédias ?*

Laure Léger, Madeline Baudouin, Elyssa Danielou & Emmanuel Schneider
LINP2, Université Paris Nanterre et lleger-chorki@parisnanterre.fr
LINP2, Université Paris Nanterre et 38004063@parisnanterre.fr
LINP2, Université Paris Nanterre et 38008138@parisnanterre.fr
LINP2, Université Paris Nanterre et eschneider@parisnanterre.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'explorer l'impact d'un exercice court de méditation sur l'apprentissage multimédia d'une leçon incluant des détails séduisants. En effet, la méditation devrait permettre à l'apprenant de centrer son attention sur les informations pertinentes tout en inhibant les éléments non pertinents, ayant pour conséquence d'améliorer sa compréhension et son apprentissage. Trois exercices de méditation ont été comparés afin de d'identifier celui qui sera le plus optimal pour les apprentissages.

MOTS-CLÉS

Apprentissage multimédia, méditation, détails séduisants, attention

1. INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est d'explorer l'impact d'un exercice court et isolé de méditation sur l'effet délétère des détails séduisants lors de l'apprentissage d'une leçon multimédia et ceci sur une population non méditante. L'objectif de cette recherche est de voir si un exercice court et isolé de méditation permet de rendre plus efficace l'inhibition, ce qui permettra alors d'enrichir les connaissances sur l'impact des différents niveaux de méditation sur les processus attentionnels.

1.1. Effet de la méditation

De nombreuses recherches rendent compte de l'existence d'effets positifs de la Méditation pleine conscience et de ses différentes pratiques sur les processus attentionnels (par exemple Jha et al, 2007). Cependant alors que l'attention est l'un des piliers de l'apprentissage la majorité des études sur la méditation dans le monde de l'éducation ne s'intéressent pas à son impact sur l'apprentissage en tant qu'acquisition des connaissances. En effet les études s'intéressant à la méditation dans le cadre scolaire explorent son impact sur la régulation émotionnelle, le bien être des écoliers ou bien sur leur comportement social à l'école. Pourtant l'une des sphères qui semblent le plus impactée par la pratique méditative est la sphère attentionnelle (Sumantry, & Stewart, 2021). La méditation permettrait notamment d'inhiber des distracteurs (éléments non pertinents à la tâche du moment) et faciliterait l'orientation de l'attention sur les objets pertinents pour la tâche.

1.2. Les détails séduisants dans l'apprentissage multimédia

Dans le cadre des apprentissages multimédias un phénomène qui est fortement étudié est l'effet des détails séduisants (voir Rey, 2012 pour une revue de la littérature et méta-analyse). Les détails séduisants sont des informations liées à la thématique de la leçon mais qui ne sont pas pertinentes pour comprendre les concepts de celle-ci. Il s'agit d'informations dont la vocation serait de susciter l'intérêt émotionnel de l'apprenant pour la thématique. Seulement ajouter ces détails séduisants à une

leçon a un effet délétère pour les apprentissages (Harp et Mayer, 1998). En effet deux raisons pourraient expliquer cet effet délétère : de par leur nature appétente, les détails séduisants capturent et maintiennent l'attention de l'apprenant diminuant ainsi ses ressources attentionnelles disponibles pour la compréhension des idées essentielles du texte (hypothèse de l'attention réduite) et interféraient ainsi avec la construction d'une représentation mentale cohérente de la leçon (hypothèse de la rupture de la cohérence) (Lehman et al., 2007). Alors que ces deux dernières décennies les études pour tenter de trouver un moyen de supprimer cet effet délétère des détails séduisants se sont multipliées (Sundarajan & Adesope 2020) mise à part les supprimer de la leçon, aucune n'a tenté d'étudier l'impact d'un exercice en amont de la leçon qui mettrait l'apprenant dans des conditions optimales afin qu'il ne se laisse pas distraire par les détails séduisants.

1.3. Problématique et hypothèse générale

Il existe différents types d'exercices courts de méditation : nous nous focaliserons sur 3 d'entre eux : un de pleine conscience, un de méditation par focalisation de l'attention (FAM) et un de méditation par Open Monitoring (OMM). La particularité de ces trois exercices est que le premier est une combinaison des deux autres. En général la pratique méditative commence par un état de focalisation attentionnelle sur un objet (son corps, sa respiration) avant d'être un état de surveillance de tous les stimuli, sensations qui nous entourent. Ainsi, la FAM conduit à restreindre le champ attentionnel des méditants en les concentrant sur un point spécifique, tandis que l'OMM leur permet un élargissement de ce champ (Colzato et al., 2012). Contrairement à la FAM, l'OMM n'a pas pour objectif la concentration de l'attention sur un objet spécifique, mais de rester attentif à tout stimuli pouvant survenir à n'importe quel instant sans jugement : c'est rester dans un état de surveillance (Lutz et al., 2008). L'hypothèse générale de cette étude est qu'un exercice court de méditation devrait permettre de limiter l'effet négatif des détails séduisants en permettant de focaliser l'attention de l'apprenant sur la tâche principale et d'inhiber les informations non pertinentes présentées simultanément. Mais cet effet avantageux de la méditation devrait dépendre du type d'exercices. Nous nous attendons à ce qu'un exercice de méditation de type « focalisation de l'attention » permette l'inhibition des détails séduisants et facilite donc l'apprentissage de la leçon. Alors qu'au contraire un exercice de « Open Monitoring » invitant à ouvrir son attention à tout ce qui nous entourent devrait entrainer un traitement des détails séduisants entrainant ainsi une diminution de l'apprentissage de la leçon.

2. METHODE

2.1. Participants

163 participants, étudiants en première année de licence de psychologie, ayant une bonne compréhension de la langue française et qui ne pratique pas de méditation, ont été recrutés.

2.2. Matériel

2.2.1. La leçon multimédia

La leçon sur la formation des orages de l'étude de Harp & Mayer (1997) a été traduite en français et intégrée dans un document powerpoint de 6 pages. Chaque page contient du texte explicatif, des images illustratives. Sur la moitié des pages des détails séduisants (image + texte) validés antérieurement ont été insérés.

2.2.2. Les bandes sonores

5 bandes sonores ont été enregistrées : 3 bandes sonores de méditation (pleine conscience, OMM et FAM) et 2 bandes sonores contrôle (relaxation et texte sur l'attention). Ces enregistrements ont une durée comprise entre 17 et 20 minutes. Les bandes sonores de méditation et de relaxation

sont des traductions de matériel utilisés dans des recherches sur la méditation (Baas et al., 2014). Le texte enregistré pour le deuxième audio contrôle est un extrait d'un livre qui porte sur l'attention (Chabris : le gorille invisible).

2.2.3. Questionnaire d'apprentissage

Un questionnaire d'apprentissage au format papier demandait aux participants de rappeler le maximum d'informations sur la leçon (score du 27 pour les informations du texte et score sur 6 pour les détails séduisant) et ses idées essentielles (score sur 8) et reprenait les questions de transfert de Harp & Mayer (1997) (score sur 4).

2.3. Procédure

Les passations étaient individuelles et pilotées par un ordinateur mais se réalisaient dans une salle où à 6 passations pouvaient être réalisée simultanément (ordinateurs séparés par des cloisons). Après avoir rempli et signé le formulaire de consentement les participants ont rempli un questionnaire préalable de connaissances sur la formation des orages et un questionnaire d'intérêt pour cette thématique. Puis ils avaient pour instruction de mettre un casque sur les oreilles et d'être attentifs au contenu de l'audio qui étaient diffusé sur l'ordinateur. Une fois que la bande sonore était terminée, la leçon était affichée page par page par le logiciel e-prime. Le passage d'une page à une autre se faisait par un appui touche du participant. Une fois que toute la leçon a été consultée, le participant devait remplir les questionnaires d'apprentissage et socio-démographique en version papier. Après un débriefing les participants étaient remerciés et partaient. La durée d'une passation était d'environ 75 minutes.

3. RESULTATS

Table 1 : Scores d'apprentissage et temps de lecture de la leçon (et écart-types entre parenthèse) en fonction de la condition expérimentale.

Conditions	Rétention leçon	Rétention Détails Séduisants	Compréhension	Transfert	Temps de lecture (en sec.)
Texte Lu (N=25)	0.05 (0.05)	.43 (.26)	.04 (.07)	1.10 (1.03)	336 (117)
Relaxation (N=36)	0.07 (0.08)	.41 (.26)	.04 (.08)	1.01 (1.05)	366 (161)
Mindfullness (N=35)	0.08 (0.10)	.50 (.27)	.05 (.06)	1.01 (1.11)	375 (109)
FAM (N=38)	0.08 (0.07)	.47 (.25)	.05 (.08)	1.05 (1.00)	420 (113)
OMM (N=29)	0.07 (0.07)	.47 (.28)	.03 (.06)	1.43 (1.08)	243 (124)

Contrairement à nos hypothèses la condition expérimentale n'a pas eu d'effet significatif sur les scores d'apprentissage : Rétention des informations de la leçon : *Anova du* Xi^2(*ddl*=4) =5,26, *p*=.26, *ns* ; rétention des détails séduisants : $F(4,158)=0,655$; $p=.62$, *ns* ; compréhension : *Anova du* Xi^2(*ddl*=4) =2,47, *p*=.65 *ns* et transfert : $F(4,158)=0,847$; $p=.50$, *ns*. En revanche la condition expérimentale a eu un effet tendanciel sur les temps de lecture de la leçon : $F(4,158)=2,24$; $p<.07$, $n^2=.05$. Des contrastes nous indiquent que le groupe FAM a des temps de lecture significativement plus longs que les groupes OMM ($t=2,45$; $p<.05$) et Texte Lu ($t=2,56$; $p<.05$).

Par ailleurs, les détails séduisants ont été significativement mieux rappelés que les informations contenues dans la leçon (*Anova du* Xi^2(*ddl*=1) =105, *p*<.001). Cette différence se retrouve quel que soit le groupe expérimental (tous les p<.001).

4. DISCUSSION-CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de voir dans quelle mesure un exercice de méditation court effectué par des non pratiquants avant une leçon pouvait orienter efficacement leur attention vers le texte de

la leçon et les détourner des informations non essentielles comme les détails séduisants. Plusieurs types d'exercices de méditation ont été testés. Les résultats de cette expérience n'ont pas permis de mettre en évidence un effet du type d'exercice écouté juste avant la leçon sur les différents scores d'apprentissage. Par ailleurs quel que soit le groupe le taux de rappel des détails séduisants détails que l'exercice de méditation FAM devait permettre d'inhiber (Baas et al., 2014), est important. Le seul effet retrouvé de l'exercice concerne le temps de consultation/lecture de la leçon qui est plus long quand les participants ont écouté un exercice de Méditation type Focus attention par rapport à ceux qui ont eu un exercice de Méditation Open Monitoring ou le texte sur l'attention. Néanmoins alors que le temps de lecture de la leçon est significativement corrélé avec les scores de rétention des informations de la leçon ($r=.34$, $p<.001$), le temps supplémentaire passé par les participants en FAM n'est pas suffisant pour augmenter significativement leur apprentissage. Il est à noter que les scores d'apprentissage concernant les informations de la leçon sont très faibles (environ 5% d'informations retenues sur celles attendues). Peut se poser alors la question de l'adéquation du contenu de cette leçon pour l'intérêt ou l'engagement des participants à consulter un document sur la formation des orages, sachant que l'intérêt thématique relever en début de passation pour la formation des orages (score de 14,6 sur un score maximum de 28) est significativement corrélé avec le score de rétention de la leçon ($r=.30$, $p<.001$) mais pas avec la restitution des détails séduisants ($r=-.02$; $p=.76$, ns). Une suite à cette recherche pourrait être d'explorer dans quel cadre ces exercices pour être efficaces ne devraient pas être réalisés sur plusieurs séances afin que les participants puissent mettre en place ces processus de concentration pendant la consultation d'une leçon.

5. BIBLIOGRAPHIE

Baas, M., Nevicka, B ., Ten Velden, FS. (2014). Specific Mindfulness Skills Differentially Predict Creative Performance. *Personality and Social Psychology Bulletin, 40(9*), 1092-1106. doi: 10.1177/0146167214535813.

Colzato, L. S., Ozturk, A., & Hommel, B. (2012). Meditate to Create : The Impact of Focused-Attention and Open-Monitoring Training on Convergent and Divergent Thinking. *Frontiers in Psychology*, *3*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00116

Jha, A. P., Krompinger, J., & Baime, M. J. (2007). Mindfulness training modifies subsystems of attention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *7*(2), 109-119. https://doi.org/10.3758/cabn.7.2.109

Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage : A theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 414-434. https://doi.org/10.1037/0022-0663.90.3.414

Lehman, S., Schraw, G., McCrudden, M. T., & Hartley, K. (2007). Processing and recall of seductive details in scientific text. *Contemporary educational psychology*, 32(4), 569- 587.

Lutz, A., Slagter, H. A., Dunne, J. D., & Davidson, R. J. (2008). Attention regulation and monitoring in meditation. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(4), 163-169. https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.01.005

Rey, G. D. (2012). A review of research and a meta-analysis of the seductive detail effect. *Educational Research Review, 7*(3), 216–237. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2012.05.003

Sumantry, D., & Stewart, K.E (2021). Meditation, Mindfulness and Attention: a Meta-analysis. Mindfulness, 12, 1332-1349. https://doi.org/10.1007/s12671-021-01593-w

Sundararajan, N., & Adesope, O. (2020). Keep it coherent: A meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Psychology Review*, 1–28.

3 Communications Longues (= CL) et

2 Communications Courtes (= CC)

CL : *Utilisation dynamique de la transparence pour la coopération humain-machine*

Loïck SIMON, Clément GUERIN & Philippe RAUFFET

Université Bretagne Sud, Lab-Sticc, UMR 6285, loick.simon@univ-ubs.fr

Université Bretagne Sud, Lab-Sticc, UMR 6285, clement.guerin@univ-ubs.fr

Université Bretagne Sud, Lab-Sticc, UMR 6285, philippe.rauffet@univ-ubs.fr

RÉSUMÉ

Les intelligences artificielles, fortes de l'utilisation de big data, sont désormais des outils d'aide à la décision. Ces machines peuvent proposer des solutions à un opérateur qui aura la charge de les accepter ou de les refuser. Cette coopération nécessite que l'opérateur ait une confiance calibrée dans la machine. Une confiance calibrée permet d'éviter que l'opérateur accepte ou refuse de façon inconsidérée les propositions d'une machine. Afin de calibrer la confiance, le concept de transparence semble un levier prometteur. Dans le cadre de la maintenance prévisionnelle en milieu maritime, nous testons ici l'utilisation de la transparence d'une intelligence artificielle via une interface adaptative. Les résultats indiquent que la transparence peut être un levier permettant d'adapter la communication de l'intelligence artificielle et permettant à l'opérateur de calibrer sa confiance. Nos résultats montrent un lien entre les changements de transparence et les changements de comportement de l'opérateur. L'utilisation de cette dynamique est une voie prometteuse pour l'amélioration de la coopération humain-machine.

MOTS-CLÉS

Transparence, Interface adaptative, Confiance, Coopération Humain-Machine, Prise de décision

1. INTRODUCTION

Les intelligences artificielles (IA) sont désormais assez développées pour aider les opérateurs dans leurs prises de décision et ce dans de multiples domaines tels que l'armée, la santé ou la finance (Chong et al., 2022). Lorsqu'une IA fait des propositions, la coopération qui s'opère avec l'humain est de type débative (Schmidt, 1991 ; Hoc, 1996). L'opérateur n'ayant pas les compétences pour manipuler de grand ensemble de données (i.e. big data), l'IA pourra lui proposer de reconsidérer certaines décisions en prenant en compte les données dont elle dispose. Si nous prenons l'exemple de la maintenance prévisionnelle en milieu maritime, l'IA va pouvoir utiliser les données d'un navire issues de capteurs, afin de simuler les états futurs d'un équipement. De cette projection, l'IA peut reconsidérer une date d'intervention de maintenance prévue et proposer une alternative à l'opérateur (Seguin et al., 2022).

Lorsque qu'une IA émet une proposition, l'opérateur doit prendre une décision : accepter ou refuser. Si l'opérateur accepte, cette décision reflète un comportement de confiance qui est issu de l'attitude de confiance de l'opérateur envers cet agent autonome (AA) (Hoff & Bashir, 2015). Selon Lee et See (2004), la confiance est définie comme l'attitude d'un individu envers un agent, qu'il considère comme pouvant l'aider à atteindre un but. La confiance nécessite d'être calibrée (de Visser et al., 2020) car un niveau de confiance trop élevé ou trop faible conduit à un risque de mauvaise utilisation (voir les célèbres travaux de Parasuraman & Riley (1997) : Use, Misuse, Disuse, Abuse). Zhang, Liao et

Bellamy (2020) ont montré que le concept de transparence est un levier prometteur pour calibrer la confiance, en permettant la construction d'un modèle mental de la situation et de l'AA.

Pour Chen (2021), la transparence peut être définie comme le taux d'information que transmet un AA à un opérateur humain. Il existe deux modèles principaux dans la littérature sur la transparence. Le modèle de Chen et al. (2018) distingue trois niveaux de transparence, en référence aux travaux d'Endsley (1995), pour aider à la construction et au maintien des trois niveaux de la conscience de la situation. Dans ce modèle, les informations que communique l'AA vont améliorer la conscience de la situation de l'opérateur. Cette amélioration permet de calibrer la confiance de l'opérateur dans l'AA et d'augmenter la performance du couple agent autonome/opérateur. Le second modèle est celui de Lyons (2013) qui distingue différentes dimensions pouvant être communiquées par l'AA, ce qui facilite la coopération avec un opérateur. Par exemple, un AA qui communique sur la dimension « analytique » fournira des informations sur les éléments qu'il a pris en compte, ses algorithmes et sa la fiabilité de ses algorithmes. Si l'agent communique sur la dimension « environnement », il fournira des informations relatives à son environnement (par exemple les risques associés à une situation).

Il est possible de considérer les interfaces adaptatives comme une autre solution pour calibrer la confiance (Naiseh et al., 2021). Ici, l'interface se modifie à partir d'un déclencheur (Sarter, 2007). Ce déclencheur peut être le niveau d'attention ou l'expérience de l'opérateur, ou bien encore une condition particulière de l'environnement. Akash et al. (2020) ou Okamura et Yamada (2020) ont quant à eux utilisé la confiance de l'opérateur comme déclencheur de l'adaptation des interfaces. Dans ces deux expérimentations, l'adaptation des interfaces s'opérait en termes de transparence des informations sur l'interface. Dans l'étude de Okamura et Yamada (ibid.), si la confiance du participant était trop basse, alors l'IA augmentait sa transparence en émettant une information sur sa fiabilité. Leurs premiers résultats sont concluants et mettent en évidence que l'utilisation adaptative de la transparence peut servir à calibrer la confiance grâce à une amélioration du modèle mental de l'IA et de la conscience de la situation.

Enfin, l'étude de Hoesterey et Onnasch (2022) a montré que dans un contexte de coopération entre un opérateur et une aide à la décision, le risque associé à une situation a un effet sur les comportements de confiance. Dans la perspective des travaux de Akash et al. (ibid.) et d'Okamura et Yamada (ibid.), l'expérimentation présentée dans cette communication cherche à faire varier la transparence d'un AA, sur sa dimension analytique, en fonction des comportements de confiance d'un opérateur. C'est en ce sens que notre étude propose d'utiliser la transparence de façon dynamique. Notre question de recherche est la suivante : Un agent autonome à transparence adaptative aura-t-il une influence sur le comportement de confiance d'un opérateur ?

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

L'expérimentation s'est déroulée à l'ENSM (école nationale supérieure maritime) du Havre. Les 16 participants (*M* = 25,31 ans, *E-T* = 9,85) avaient tous une expérience de navigation (*M* = 37,31 mois ; *E-T* = 118,09). 15 participants étaient des élèves de l'ENSM et 1 participant était un ancien chef mécanicien. Le recrutement a été fait en interne et aucune rétribution n'était prévue. Les participants étaient conviés à une expérimentation de coopération avec une IA de maintenance prévisionnelle.

La tâche des participants était de coopérer avec une IA de maintenance prévisionnelle sur 60 situations, dépendantes les unes des autres, en acceptant ou en refusant ses propositions. À la suite de cette prise de décision les participants recevaient un feedback (Tab. 1) et avaient accès à une nouvelle proposition avec la transparence actualisée en fonction d'un taux d'acceptation (Fig. 1).

La transparence de l'intelligence artificielle (IA) variait en fonction du taux d'acceptation du participant calculé sur les 7 dernières propositions. L'IA était transparente soit exclusivement sur la fiabilité de sa proposition (i.e. 90%, « F », Fig. 2 en jaune), soit sur les risques liés à cette proposition

(en cas d'acceptation et de refus, « R », Fig. 2 en vert), soit sur les deux informations (« F+R »). Sur les dix premières situations l'IA communiquait la fiabilité et le risque (« F+R »). Ce feedback textuel pouvait être **positif** ou **négatif** en fonction de la décision du participant (i.e. accepter ou refuser la proposition) et de la proposition (i.e. proposition sur un diagnostic correct ou erroné) (Fig. 1et Tab. 1). Il portait sur les conséquences de son choix sur l'équipement. Le rôle de ce feedback était de rendre la situation de coopération écologique et de créer une boucle de rétroaction entre la décision et la construction de la confiance de l'opérateur envers l'agent autonome.

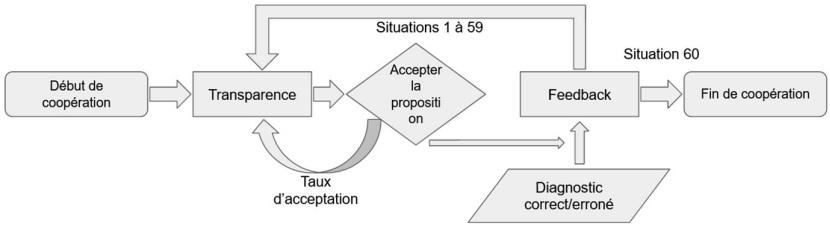


Figure 1 : Protocole expérimental.

Tableau 1 : Feedback de l'IA en fonction du diagnostic lié à la proposition de l'IA et du choix du participant

Proposition de l'IA	Choix du participant	Feedback de l'IA (conséquence)
Basée sur un diagnostic correct (55 propositions)	Accepter	Feedback positif « *Le filtre a tenu sans conséquences négatives jusqu'à la date proposée par Seanatic* »
	Refuser	Feedback négatif « *Après inspection suite à son changement, le filtre aurait pu tenir sans conséquences négatives jusqu'à la date proposée par Seanatic* »
Basée sur un diagnostic erroné (5 propositions)	Accepter	Feedback négatif : « *Le filtre était encrassé lors de votre maintenance* »
	Refuser	Feedback positif « *Le filtre présentait les traces d'un début d'encrassement lors de votre maintenance* »

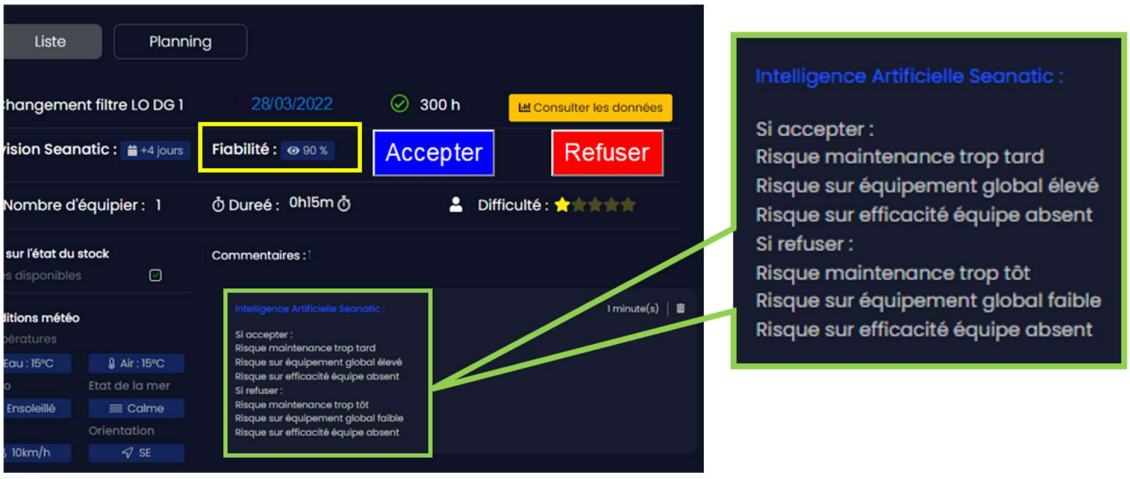


Figure 2 : Interface de dialogue avec l'IA Seanatic.

Toutes les propositions de l'IA portaient sur le fait de décaler la maintenance d'un équipement important, dans le sens où un défaut de maintenance pouvait conduire à des conséquences graves. Les propositions de l'IA, fiables à 90%, étaient toutes associées à une criticité forte : si le participant acceptait, il y avait une forte probabilité de survenue d'un évènement grave. Par exemple, reculer le changement de filtre peut conduire à son encrassement prématuré, ce qui peut générer une panne

moteur. L'IA n'étant fiable qu'à 90%, 5 de ses propositions étaient basées sur un diagnostic erroné et amenaient des conséquences négatives (i.e. le filtre s'encrassait plus tôt que prévu). Ces 5 propositions ne pouvaient pas être différenciées des autres propositions et survenaient de façon prédéfinie et identique à tous les participants. Entre chaque situation (i.e. une proposition de l'IA suivie d'une décision du participant) une ellipse temporelle était simulée, afin d'intégrer un aspect écologique au protocole. Cette ellipse était de 14 jours si le participant refusait (la maintenance était alors réalisée à la date prévue), et de 18 jours s'il acceptait (la maintenance se faisait à la date proposée par l'IA).

Pour accepter ou refuser la proposition de l'IA, le participant utilisait le logiciel Seanatic sur lequel étaient aussi communiquées les informations liées à chaque proposition (Fig. 2).

Dans le cadre de cette expérimentation nous avons investigué la variable **comportement de confiance**, mesurée après chaque décision du participant (accepter ou refuser) suite aux propositions de l'IA Seanatic. Notre hypothèse est la suivante : **les changements de transparence font varier les comportements de confiance** (Akash et al., 2020 ; Okamura & Yamada, 2020). Les changements de transparence (par ex., de "F+R" à "R"), de feedback (par ex., d'un feedback positif à un feedback négatif) et d'acceptation (par ex., d'accepter à refuser) sont nommés "Delta". L'absence de delta est nommée "none". Nous avons également contrôlé l'affinité envers la technologie, la propension à faire confiance à l'agent autonome, la propension au risque et la confiance de l'opérateur dans l'IA. Nous avons utilisé des tests de Chi² suivi d'une régression logistique multinomiale pour analyser les effets de la transparence et des feedbacks sur l'acceptation, ainsi que les effets des deltas.

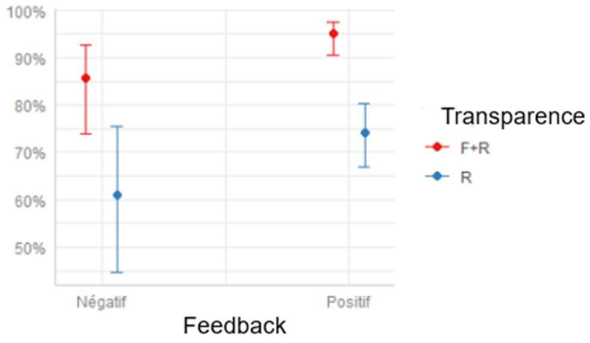
3. RÉSULTATS

Premièrement nous avons identifié deux groupes de participants selon leur comportement. Le premier groupe (nommé « alternant »), correspondant à 7 participants, avait un comportement d'alternance de réponse après les propositions. Le second groupe (nommé « conservateur »), correspondant à 9 participants, conservait la même décision durant les 60 situations. Ce groupe avait tendance à toujours accepter les propositions. L'utilisation de T-tests de Student n'a montré aucune différence significative entre les groupes « alternant » et « conservateur » pour :

a. L'affinité envers la technologie (« alternant » (M = 4.41, E-T = 0.98) et « conservateur » (M = 4.39, E-T = 0.74), (t(14) = 0.041, p = .484));
b. La propension à la confiance (« alternant » (M = 3.62, E-T = 0.82) et « conservateur » (M = 3.74, E-T = 0.30), t(14) = 0.414, p = .452));
c. La propension au risque (« alternant » (M = 3.32, E-T = 1.10) et « conservateur (M = 3.83, E-T = 1.53), t(14) = 0.748, p = .467));
d. La confiance dans l'IA (« alternant » (M = 3.71, E-T = 1.08) et « conservateur (M = 3.82, E-T = 0.64), t(14) = 0.258, p = .8)).

Nous concentrerons donc nos analyses statistiques sur le groupe « alternant ». Les deux groupes ayant une forte tendance à accepter, la modalité de transparence « F » n'a été activée qu'une fois sur toutes les situations (420 situations). Nous l'excluons également des analyses.

Nous constatons un effet principal de la transparence. Le taux d'acceptation est plus bas lorsque l'IA communique uniquement sur les risques « R » (72%) que lorsque l'IA communique sur la fiabilité et les risques « F+R » (93%) (X^2 (1) = 32.279, p <.001) (Fig. 3). L'utilisation de la régression logistique binomiale montre que lorsque l'IA utilise la transparence « R » la probabilité d'acceptation est significativement plus faible qu'avec une transparence « F+R » (OR = 0,26, p <.005) (Tab. 2).



<u>Figure 3 :</u> Taux d'acceptation selon la transparence et le feedback N-1.

Nous ne constatons pas de différence significative entre le taux d'acceptation lorsque le feedback est « Négatif » (76%) et lorsque le feedback est « Positif » (84%) (X^2 (1) = 2.95, p > .05*)* (Fig. 3). Le modèle issu de la régression logistique prévoit une probabilité d'acceptation plus élevée lorsque le feedback est positif par rapport à un feedback négatif (*OR* = 3,21, p <.05) (Tab. 2). Ces premiers résultats supportent notre hypothèse.

<u>Tableau 2 :</u> Effet de la transparence et du feedback sur l'acceptation (Régression logistique binomiale, référence « F+R » et « Négatif »).

Modalités	OR[1]	95%IC[2]	*p-value*
Transparence (réf. F+R)			
R	0.14	-2.75, -1.24	< .01
Feedback (réf. Négatif)			
Positif	3.21	1.12, 9.17	< .05
*Transparence * Feedback (réf. F+R * Négatif)*			
R * Positif	0.57	0.16, 2.07	0.4

[1]OR = Odd Ratio, [2]IC = intervalle de confiance

Pour regarder l'effet du delta de la transparence et du delta de feedback sur le delta de comportement, nous utilisons une régression logistique multinomiale par étape afin de conserver le meilleur modèle. Celui-ci inclut deux effets principaux liés aux deltas de transparence et aux deltas de feedback, mais pas d'interaction entre ces deltas.

- Nous constatons un effet principal du delta de transparence. L'utilisation de la régression logistique multinomiale nous permet de constater que lorsque l'IA ne communique plus sa fiabilité « -F » (i.e. elle passe de « F+R » à « R »), il y a plus de probabilité de passer d'une acceptation à un refus « A=>R » par rapport aux valeurs de référence (pas de changement de transparence et d'acceptation : « None ») (*OR* = 6,26, *p <.001*). A l'inverse, lorsque l'IA communique à nouveau sur sa fiabilité « +F » (i.e. elle passe de « R » à « F+R »), il y a plus de probabilité de passer d'un refus à une acceptation « R=>A » par rapport aux valeurs de référence (*OR* = 372, *p < .001)* (Tab 3.).
- Nous constatons également un effet principal du delta de feedback. Lorsque le feedback passe de positif à négatif « P=>N », les probabilités d'un delta d'acceptation « A=>R » et d'un delta « R=>A » augmentent par rapport aux valeurs de référence (delta transparence « None » et delta acceptation « None ») (respectivement : *OR* = 2.79, p = .015 et *OR* = 21.6, p < .001) (Tab 3).

Tableau 3 : Effet du delta transparence et du delta feedback sur le delta d'acceptation (Régression logistique multinomiale).

Modalités	OR[1]	95%IC[2]	*p-value*
A=>R			
Delta Transparence (réf. None)			
-F	6.26	2.92, 13.4	<.001
Delta Feedback (réf. None)			
N=>P	0.28	0.09, 0.83	0.022
P=>N	2.79	1.22, 6.39	0.015
R=>A			
Delta Transparence (réf. None)			
-F	0.90	0.10, 7.83	0.9
+F	372	44.1, 3,140	<.001
Delta Feedback (réf. None)			
P=>N	21.6	8.40, 55.6	<.001

[1]OR = Odd Ratio, [2]IC = intervalle de confiance

Ces résultats, qui montrent que des changements d'acceptation sont corrélés à des changements de transparence et de feedback, supportent notre hypothèse.

4. DISCUSSION

Cette expérimentation avait pour but de tester l'utilisation adaptative de la transparence lors d'une coopération humain-machine. Premièrement, nous constatons un effet principal de la transparence sur le taux d'acceptation de l'opérateur. Un agent autonome (AA) qui est plus transparent conduira l'opérateur à plus accepter ses propositions. Secondement, nous constatons que les changements de comportements de l'opérateur (par ex., passer d'accepter à refuser) sont corrélés aux changements de transparence de l'AA. Cependant, le changement de comportement induit par ces changements de transparence de l'AA semble diverger selon le profil des utilisateurs.

Comme dans l'expérimentation de Simon et al. (sous presse), nous constatons un effet de la transparence sur le risque qui est corrélé à un taux d'acceptation plus faible. Les participants du groupe « alternant » ont utilisé les informations relatives à la dimension « environnement » afin de prendre leur décision. Cette transparence sur la dimension de l'environnement permettait au participant de comprendre que l'IA faisait une proposition à criticité élevée. Les participants ont donc eu tendance à refuser la proposition. L'IA n'étant plus transparente sur la dimension analytique, la fiabilité ne pouvait pas compenser les risques liés à la proposition. Conformément à l'étude de Wright, Chen et Lakhmani (2020), lorsque l'AA est transparente et fiable, la confiance du participant augmente. Cette augmentation de la confiance se traduit ici par un comportement de confiance lorsque l'AA est transparent sur la dimension « analytique » (i.e. accepter la proposition). Nous voyons également un effet du feedback positif. Ici les participants continuaient de faire confiance à l'AA en acceptant ses propositions, si le précédent feedback qu'il communiquait avait un résultat positif (c'est-à-dire, que le choix de l'opérateur n'avait pas eu de conséquence sur l'équipement). En d'autres termes, si l'on analyse la dynamique des interactions, nos résultats montrent que lorsque la dernière interaction avec un AA s'est bien passée, les opérateurs ont tendance à maintenir leur confiance en acceptant les propositions de l'IA. Ces résultats sont congruents avec le modèle de Hoff et Bashir (2015) selon lequel les expériences passées avec l'AA contribuent à la construction et au maintien de la confiance de l'opérateur. Cette attitude, si elle est positive, prend alors la forme d'un comportement d'acceptation.

Les résultats liés aux changements de comportement de l'opérateur nous permettent de constater une corrélation avec les situations où l'AA modifie sa transparence. Lorsque l'AA ne communique plus sur sa fiabilité, les opérateurs « alternant » modifient leur comportement et se mettent à refuser. A l'inverse, lorsque l'AA communique à nouveau sur sa fiabilité, les participants

modifient à nouveau leur comportement et se remettent à accepter. Conformément aux études précédentes (Akash et al., 2020 ; Okamura & Yamada, 2020) un opérateur se trouvant dans une situation de coopération avec un AA en capacité d'adapter sa transparence modifie son comportement en fonction de ces changements. Pour les participants du groupe « alternant », les changements de transparence étaient utilisés pour calibrer leur comportement et l'accorder en fonction des informations à leur disposition. En fonction de ce que l'on va juger comme une confiance appropriée (ici le taux d'acceptation), l'AA doit avoir la capacité de rendre visible ou non certaines dimensions de la transparence, telles que les dimensions proposées par Lyons (2013). Lorsque l'AA n'est plus transparent sur la dimension analytique (et en particulier sur sa fiabilité) cela accentue l'importance de la dimension de l'environnement dans la décision de l'opérateur. A l'inverse, lorsque l'AA communique sur ces deux dimensions, l'opérateur les prend en compte dans sa décision. Interagir avec un AA pouvant modifier sa transparence dynamiquement est une voie intéressante à explorer pour améliorer la coopération homme-machine. Pour cela, l'AA doit pouvoir mettre l'accent sur une dimension ou sur une autre s'il perçoit que la confiance de l'opérateur n'est pas appropriée. Concernant l'effet des feedbacks, le modèle issu de la régression logistique multinomiale prévoit que le changement de feedback, positif vers négatif, est prédicteur de deux comportements différents. Ce changement de feedback augmente la probabilité que l'opérateur modifie sa décision, c'est-à-dire soit le passage d'un refus vers une acceptation ou inversement, d'une acceptation vers un refus. Un changement de feedback semble donc générer un questionnement chez l'opérateur, et l'amène à remettre en cause son choix précédent. Notons toutefois que la probabilité qu'un changement de feedback conduise l'opérateur à passer d'un refus vers une acceptation est plus élevée que celle qui conduit à passer d'une acceptation vers un refus. Nous interprétons le cas où l'opérateur refuse une proposition, alors que les acceptations précédentes conduisaient à des feedbacks positifs, comme la volonté, pour l'opérateur, de tester la fiabilité de l'AA. Son refus amenant à un feedback négatif, l'opérateur est conforté dans l'idée qu'accepter est corrélé à un feedback positif et se remet à accepter. A l'inverse, lorsque les participants acceptent et que le feedback est négatif, ils perdent confiance dans l'AA. De ce fait, ils considèrent comme probable que l'AA refasse une erreur. L'événement précédent ayant amené des conséquences négatives, il est probable que l'AA se trompe à nouveau et je ne devrais plus lui faire confiance. Contrairement à Salem et al. (2015) nous constatons un effet de l'erreur de l'AA sur le comportement de l'opérateur. Comme souligné par les auteurs, le degré de révocabilité de l'erreur a un effet sur l'attitude. Or le contexte maritime a pour objectif d'éviter toute erreur de maintenance (Simon et al., 2021). Ici l'importance de cette révocabilité est telle qu'elle dépasse l'attitude et vient modifier le comportement, malgré la fiabilité élevée de l'AA.

Comme dans l'expérimentation de Kortschot et al. (2022), nous constatons que les participants ne sont pas tous sensibles à la transparence d'un AA puisque nous avons identifiés 2 profils. Nos résultats ne permettent pas de montrer avec certitude quels déterminants individuels pourraient expliquer cette différence, puisqu'aucun résultat significatif n'a été observé sur les 4 déterminants que nous avons contrôlés (affinité envers la technologie, propension à la confiance et au risque, confiance dans l'IA). En revanche, nous constatons que ces déterminants convergent. En effet, comparé au groupe « conservateur », le groupe « alternant » connaissait mieux la technologie et ses limites (i.e. une affinité envers la technologie plus élevée), avait une propension plus faible à faire confiance dans les AA, ainsi qu'une propension plus faible au risque, et également une confiance plus faible dans l'IA.

Nous relevons quelques limites à cette étude. Premièrement, l'algorithme d'adaptation n'inclut que les 7 dernières interactions. Se pose donc la question de ce qu'il se passerait sur une plus longue durée (et avec un AA qui adapterait sa transparence moins régulièrement), ou au contraire sur des échéances plus courtes (et avec un AA adaptant sa transparence plus régulièrement). Également, la fiabilité de l'AA était fixée à 90%. Il serait intéressant d'observer les effets que produit un changement

de transparence avec différents niveaux de fiabilité. Enfin, il est nécessaire d'améliorer la compréhension des facteurs et déterminants individuels qui sous-tendent la sensibilité à ce type d'AA.

5. CONCLUSION

Dans cette étude, nous voulions tester la pertinence de l'utilisation d'une transparence adaptative en s'appuyant sur les dimensions analytiques et de l'environnement du modèle de Lyons (2013). Pour ce faire nous avons mis en place un protocole simulant une interaction entre un AA et un opérateur avec des situations dépendantes entre elles. Nous avons pu confirmer que les changements de transparence de l'AA étaient corrélés avec les changements de comportement des opérateurs. Ainsi, les résultats de cette étude montrent l'intérêt d'utiliser les dimensions de la transparence pour calibrer la confiance d'un opérateur envers un agent autonome. Il est également possible d'utiliser le taux d'acceptation comme déclencheur des mécanismes d'adaptation des interfaces. Ces deux résultats pourraient permettre, dans un contexte industriel, d'éviter que les opérateurs se trouvent dans une situation de complaisance en les faisant se questionner sur leur choix d'accepter ou de refuser.

Les AA adaptatifs utilisant la transparence comme levier d'adaptation semblent être une voie prometteuse pour la calibration de la confiance. Dans le cadre où l'AA est force de proposition, comme dans de nombreux secteurs tels que la santé, l'industrie ou l'armée (Chong et al., 2021), cette propriété permettrait de calibrer et de maintenir un niveau de confiance adapté. L'objectif étant de ne pas utiliser la proposition de façon déconcertée, mais de toujours rester vigilant afin d'éviter de surutiliser, ou de sous-utiliser l'AA (Parasuraman & Riley, 1997) et éviter biais et phénomène de contentement (Parasuraman & Manzey, 2010). Quatre voies de recherches restent à investiguer sur l'utilisation d'une interface adaptative. Premièrement, il serait intéressant de changer les algorithmes basés sur le taux d'acceptation pour regarder s'il existe une différence entre un algorithme court-terme (par exemple la dernière décision) ou long-terme (les cinquante dernières). Deuxièmement, il est nécessaire de mieux comprendre les déterminants individuels influencent l'utilisation des interfaces adaptatives. Troisièmement, la question de la fiabilité reste à approfondir. Il serait opportun de moduler cette fiabilité pour constater quels sont les effets sur l'utilisation d'une interface adaptative. Quatrièmement, il semble nécessaire d'utiliser d'autres dimensions de la transparence pour observer leur potentiel en tant que levier d'adaptation, et ce par rapport à d'autres déclencheurs.

6. REMERCIEMENTS

Les recherches présentées dans ce document ont été menées dans le cadre du projet SEANATIC (N°2082C0023). Ce projet est soutenu par le Programme d'Investissements d'Avenir de l'ADEME.

7. BIBLIOGRAPHIE

Akash, K., McMahon, G., Reid, T., & Jain, N. (2020). Human Trust-based Feedback Control: Dynamically varying automation transparency to optimize human-machine interactions.

Chen, J. Y. C., Lakhmani, S. G., Stowers, K., Selkowitz, A. R., Wright, J. L., & Barnes, M. (2018). Situation awareness-based agent transparency and human-autonomy teaming effectiveness. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 19(3), 259-282.

Chen, J. Y. C. (2021). Agent Transparency. In Smart and Intelligent Systems. CRC Press.

Chong, L., Zhang, G., Goucher-Lambert, K., Kotovsky, K., & Cagan, J. (2022). Human confidence in artificial intelligence and in themselves: The evolution and impact of confidence on adoption of AI advice. *Computers in Human Behavior*, *127*, 107018.

de Visser, E., Peeters, M. M. M., Jung, M., Kohn, S., Shaw, T., Pak, R., & Neerincx, M. (2020). Towards a Theory of Longitudinal Trust Calibration in Human–Robot Teams. International Journal of Social Robotics, 12.

Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. Human Factors, 37(1), 32-64. https://doi.org/10.1518/001872095779049543

Hoc, J.-M. (1996). Supervision et controle de processus : La cognition en situation dynamique. PUG.

Hoesterey, S., & Onnasch, L. (2022). The effect of risk on trust attitude and trust behavior in interaction with information and decision automation. *Cognition, Technology & Work*.

Hoff, K. A., & Bashir, M. (2015). Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. Human factors, 57(3), 407-434.

Kortschot, S. W., Jamieson, G. A., & Prasad, A. (2022). Detecting and Responding to Information Overload With an Adaptive User Interface. Human Factors, 64(4), 675-693.

Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. Human Factors, 46(1), 50-80.

Lyons, J. B. (2013, mars 15). Being Transparent about Transparency: A Model for Human-Robot Interaction. 2013 AAAI Spring Symposium Series. 2013 AAAI Spring Symposium Series.

Naiseh, M., Al-Thani, D., Jiang, N., & Ali, R. (2021). Explainable recommendation: When design meets trust calibration. World Wide Web, 24. https://doi.org/10.1007/s11280-021-00916-0

Okamura, K., & Yamada, S. (2020). Adaptive trust calibration for human-AI collaboration. PLOS ONE, 15(2).

Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 39(2), 230-253.

Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and Bias in Human Use of Automation: An Attentional Integration. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 52(3), 381–410.

Pynadath, D. V., Gurney, N., & Wang, N. (2022). Explainable Reinforcement Learning in Human-Robot Teams: The Impact of Decision-Tree Explanations on Transparency. 2022 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 749-756.

Sarter, N. (2007). Coping with Complexity Through Adaptive Interface Design. International Conference on Human-Computer Interaction, 493-498.

Salem, M., Lakatos, G., Amirabdollahian, F., & Dautenhahn, K. (2015). Would You Trust a (Faulty) Robot? Effects of Error, Task Type and Personality on Human-Robot Cooperation and Trust. *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 141-148.

Schmidt, K., Rasmussen, J., Brehmer, B., & Leplat, J. (1991). Cooperative work: A conceptual framework. Distributed decision making: Cognitive models for cooperative work, 75-110.

Seguin, C., Rioual, Y., Diguet, J.-P., & Gogniat, G. (2022). Data Extraction and Deep Learning Method for Predictive Maintenance in Vessel's Engine Room. 32nd European Safety and Reliability Conference (ESREL 2022)., 1983-1990.

Simon, L., Guérin, C., Rauffet, P., & Lassalle, J. (2021). Using cognitive work analysis to develop predictive maintenance tool for vessels. 31st European Safety and Reliability Conference.

Simon, L., Guérin, C., Rauffet, P., Chauvin, C., & Martin, E. (sous-presse). How humans comply with a (potential) faulty robot: effects of multidimensional transparency. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*

Wright, J. L., Chen, J. Y. C., & Lakhmani, S. G. (2020). Agent Transparency and Reliability in Human–Robot Interaction: The Influence on User Confidence and Perceived Reliability. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, *50*(3), 254-263.

Zhang, Y., Liao, Q. V., & Bellamy, R. K. E. (2020). Effect of confidence and explanation on accuracy and trust calibration in AI-assisted decision making. Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, 295-305.

CL : *Confiance en l'autre : approche expérimentale de l'arbitrage entre le partenaire humain et le partenaire automatisé*

Pauline Munoz
Centre de Recherche de l'Ecole de l'Air(CREA), Pauline.munoz@ecole-air.fr
Anne-Lise Marchand
Centre de Recherche de l'Ecole de l'Air (CREA), Anne-lise.marchand@ecole-air.fr
Laurent Chaudron
Theorik-Lab, laurent.chaudron.1981@polytechnique.org
& Nicolas Maille
Onera, Nicolas.maille@onera.fr

RÉSUMÉ

L'étude présentée étudie l'existence d'un biais d'automatisation dans un contexte d'arbitrage à fort enjeu entre une aide automatisée et une aide humaine. En situation d'arbitrage, il est observé qu'à fiabilité égale, l'individu préfère choisir une aide automatisée qu'une aide humaine (Dzindolet et al, 2002). Cependant, d'autres études montrent que le risque lié au contexte peut faire varier l'apparition de ce biais d'automatisation (Lyons & Stockes, 2012; Perkins et al, 2010). Cette étude expérimentale vise à départager ces deux hypothèses en obligeant l'individu à arbitrer entre une aide humaine ou une aide automatisée associées aux mêmes niveaux de fiabilité et fournissant des informations conflictuelles. L'individu doit choisir une des deux informations. Les résultats indiquent que les participants ont tendance à choisir l'aide humaine lorsque les aides ont une fiabilité égale, suggérant l'importance du contexte sur le poids du biais d'automatisation dans l'arbitrage. Ces résultats doivent être confirmés dans différents contextes pour en tirer des conclusions plus générales.

MOTS-CLÉS

Confiance interpersonnelle, Confiance en l'automatisation, Prise de décision, Biais d'automatisation, IHM

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte applicatif

La montée en puissance des technologies numériques et leur emprise dans notre quotidien implique pour l'individu d'interagir avec des agents du système dans lequel il évolue sans parfois savoir si cet interlocuteur est humain ou technique (e.g. notre perplexité face aux assistants en ligne quant à leur identité réelle ; chatbot ou interlocuteur humain ?). Il doit pourtant établir un lien de confiance avec ces différents agents du système et parfois choisir entre deux informations contradictoires. En effet, les informations d'une technologie peuvent être en contradiction avec les informations d'un humain, comme l'illustre de manière tragique l'accident aérien d'Uberlingen en 2002. Cet exemple met en évidence la nécessité de mener des recherches supplémentaires afin de mieux appréhender la manière dont les êtres humains interagissent avec des informations conflictuelles issues de sources humaines et automatisées. Un opérateur humain d'un système complexe disposant d'un grand nombre de sources d'informations dynamiques pourra facilement se retrouver dans une situation similaire. Cette

problématique de l'arbitrage entre un partenaire humain ou technologique est au cœur des préoccupations du Système de Combat Aérien du Futur (ou SCAF). En effet, les pilotes du SCAF devront superviser un ensemble de systèmes de système et interagir avec des partenaires humains et technologiques. Au-delà du cas du SCAF, cette question d'arbitrage pour un opérateur devient de plus en plus importante dans la plupart des systèmes sociotechniques complexes car les agents technologiques y occupent de plus en plus de place et fournissent une partie des éléments nécessaires à la prise de décision. Selon Amalberti (2001), un système sociotechnique complexe est un ensemble de composantes techniques et humaines qui interagissent de manière complexe et dynamique pour atteindre un objectif commun. Afin d'améliorer la compréhension des interactions entre humains et technologie dans ce type de système, une des pistes consiste à mieux comprendre les mécanismes de la confiance en l'humain et en la technologie. Dans cette perspective, l'objectif de cet article est de déterminer si, dans une situation d'arbitrage à haut risque, les individus préfèrent choisir une aide humaine ou automatisée. Cette analyse permettra potentiellement d'améliorer la prise de décision, la confiance interpersonnelle et la confiance en l'automatisation dans des situations conflictuelles.

1.2. La notion de confiance

La littérature sur la confiance est profuse ces dernières années. Elle aborde régulièrement la question de la confiance dans les systèmes automatisés (Hoff & Bashir, 2015; Kohn et al, 2021) et plus récemment dans les systèmes à base d'intelligence artificielle (Kaplan & al, 2023). Cependant, comme pointé dans ces revues de littératures, il n'y a pas de consensus sur une définition précise de la confiance (Sheridan 2019). Par exemple, la confiance dans la machine (CM) peut être définie comme « l'attitude selon laquelle un agent aidera à atteindre les objectifs d'un individu dans une situation caractérisée par l'incertitude et la vulnérabilité » (Lee et See, 2004 ; p. 54). Dans d'autres contextes, où l'on s'intéresse plutôt à la confiance entre individus (confiance interpersonnelle ou CI), la confiance peut être définie comme « une volonté d'accepter la vulnérabilité »(Mayer et al., 1995 ; p.712). Derrière la variété des définitions, les propositions de conceptualisation de la confiance reposent pourtant bien souvent sur l'évaluation par un *confiant* (Karsenty, 2018) ou *trustor* (Mayer, Davis et Schoorman, 1995) de la fiabilité d'un *mandant* (Karsenty, 2018) ou *trustee* (Mayer et al., 1995), dans une situation spécifique, afin de lui confier une tâche donnée.

Si les différents types de confiance (dans les individus, dans les automates, dans les systèmes à base d'intelligence artificielle) s'appuient sur la même littérature initiale, elles sont bien souvent étudiées séparément, dans des champs applicatifs bien distincts. Le champ de la CI est étudié principalement par des études de terrain et des données issues de questionnaires en sciences de gestion (Dirks & Ferrin, 2002). Pour sa part, le champ de la CM s'appuie sur des données comportementales et des méthodologies expérimentales en psychologie (Hoff & Bashir, 2015). Peu d'études examinent ce qui les distingue et ce qui les rapproche, même si cela est abordé, par exemple par Madhavan & Wiegmann (2007) ou Kessler et al (2017). Dans leur revue de littérature, Hoff et Bashir (2015) distinguent la confiance interpersonnelle de la confiance en l'automatisation, en fonction des attentes du trustor : la compétence, l'intégrité et la bienveillance du trustee pour la CI (Mayer et al., 1995), et l'utilité, la prévisibilité et l'intention de la machine pour la CM (Lee & See, 2007). Cependant, cette distinction peut être due aux méthodologies et aux champs théoriques mobilisés sur ces deux variantes de la confiance.

Par ailleurs, une partie importante de la littérature cherche à mettre en évidence les antécédents de la confiance, c'est-à-dire les éléments qui vont favoriser ou pas la mise en place de la confiance (Hoff & Bashir, 2015 ; Kaplan & al, 2023). Parmi elles, certaines ont mis en évidence que la fiabilité perçue de l'automatisation influençait fortement la confiance qui lui était accordée (Lee & See, 2004 ; Hancock et al., 2011), tandis que d'autres ont montré que la fiabilité perçue des partenaires influençait également la confiance interpersonnelle (Dirks & Ferrin, 2002). La fiabilité du mandant apparaît donc comme un facteur prépondérant (Kaplan et al., 2023). C'est pourquoi, dans certaines études

expérimentales, telles que celle menée par Dzindolet et ses collègues (2002), la variabilité de la fiabilité a été employée comme méthode pour moduler la confiance. Cette même approche sera employée dans l'expérimentation présentée ici. En ce qui concerne la prise de décision, la confiance en un partenaire, qu'il soit humain ou automatisé, y est essentielle (Kahneman & Klein, 2009 ; Endsley, 2017).

1.3. Confiance et prise de décision

Bien que la confiance en l'humain et la confiance en l'automatisation soit un élément important dans la prise de décision, il semblerait que la CI et la CM exercent une influence différente sur la prise de décision (Parasuraman et Manzey (2010) ; Kujala & Kujala (2017).

Le biais d'automatisation a été identifié comme influençant les interactions avec un système automatisé (Lee & See, 2004, Parasuraman & Manzey, 2010) : celui-ci correspond à la propension à favoriser les suggestions des systèmes de prise de décision automatisés et à ignorer les informations contradictoires faites sans automatisation, même si elles sont correctes (Cummings, 2017). Cela signifie que l'individu préfère suivre la décision d'une aide automatisée au dépend d'une aide humaine. Ce biais est pour l'instant spécifique aux tâches de prise de décisions et est particulièrement présent dans l'aviation (McGuirl & Sarter, 2006 ; Sarter & Schroeder, 2001). Toutefois, rares sont les auteurs qui testent le biais d'automatisation lorsque la fiabilité des agents est équivalente ; c'est le cas de Dzindolet & al. (2002) qui constatent un biais d'automatisation même lorsque la fiabilité des agents est égale. Les résultats de leurs expérimentations montrent que le participant ignore plus souvent les informations de l'aide humaine que les informations de l'aide automatisée.

Toutefois, les expérimentations portant sur les biais d'automatisation ne prennent généralement pas en compte les risques liés au contexte. Pourtant, le contexte et les risques qui y sont parfois liés jouent un rôle important dans le développement de la confiance (Mayer et al, 1995 ; Lee & See, 2004). En effet, la perception du risque est fondamentale pour instaurer la confiance en raison de l'incertitude qui y est toujours associée (Siegrist, 2019). Lyons et Stockes (2012) se penchent sur le rôle du risque lorsqu'une aide humaine et une automatisation fournissent simultanément des informations à des individus. Leurs résultats montrent que les participants se fient moins à l'aide humaine lorsqu'ils prennent des décisions à haut risque. Ces résultats vont donc dans le sens d'une persistance du biais d'automatisation malgré un niveau de risque élevé. Cependant, l'effet inverse peut se produire. En effet, Perkins et al (2010) et d'autres recherches (Ezer et al., 2008 ; Rajaonah et al., 2008) montrent que les individus ont tendance à moins se fier à l'automatisation lorsque le risque est plus élevé. Ces résultats contradictoires interrogent sur l'importance du contexte dans la confiance interpersonnelle et la confiance dans la machine. Le rôle du contexte doit donc être étudié plus avant (Hoff et Bashir, 2015).

1.4. Visée de l'étude

Cette étude vise à contribuer à cette question en examinant de quelle manière un biais d'automatisation peut se manifester ou non dans une situation d'arbitrage à haut risque, en particulier dans des environnements socio-techniques complexes tels que celui du Système de Combat Aérien du Futur (SCAF). Ainsi, un cadre expérimental est mis en place afin d'étudier comment la confiance et la fiabilité influencent l'apparition d'un biais d'automatisation dans un système socio-technique complexe. L'expérimentation développée ici s'inspire du protocole de Dzindolet et al (2002) consistant à induire des fiabilités équivalentes aux agents lors d'une prise de décision. En effet, ici, la confiance est manipulée aux travers de la fiabilité d'une aide humaine d'une part et d'une aide automatisée d'autre part. L'expérimentation propose un contexte aéronautique associé à un haut risque vital, la mission CAS (Close Air Support). Celle-ci désigne une mission aérienne contre des cibles hostiles au sol et à proximité de forces amies. L'objectif de la mission CAS est la détection ainsi que la neutralisation constituée par la menace ennemie au sol. Les auteurs s'attendent à ne pas voir apparaître de biais d'automatisation en raison du risque vital du contexte. Cette hypothèse s'appuie sur plusieurs études

(Perkins et al, 2010; Ezer et al 2018; Rajaonah et al, 2018). En effet, il semblerait que le biais d'automatisation n'apparaisse pas significativement dans des contextes à haut risque. Cependant, cette observation est remise en cause par les auteurs Lyons et Stokes (2012). Cette expérimentation a donc pour but de tester l'apparition ou non d'un biais d'automatisation suivant un contexte à haut risque à travers l'hypothèse suivante :

Hypothèse : Dans une situation où le risque est élevé et où les deux sources d'information sont équivalentes en termes de fiabilité, le participant préférera choisir une information provenant d'une aide humaine plutôt que celle provenant d'une aide automatisée.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Participants

Cette étude comprend 42 participants (38 hommes et 4 femmes) âgés de 19 à 28 ans (*M* = 23,3, *ET* = 2,25). Les participants sont des étudiants de l'École de l'Air et de l'Espace, ils ont des connaissances superficielles sur une situation CAS. Tous ont déclaré avoir une vision normale ou corrigée, n'avoir aucun antécédent de troubles neurologiques, et étaient naïfs quant au sujet de l'étude.

2.2. Matériel et stimuli

L'expérience se déroule sur un ordinateur de 15 pouces et dure en moyenne 27 minutes. La variable dépendante est la décision du participant. La fiabilité et la nature de l'agent sont les variables indépendantes. Quatre valeurs de fiabilité sont proposées dont 20%, 50%, 70% et 90%. Deux types d'agents sont proposés, i.e. un agent humain (JTAC) et une automatisation (MAPS). Seize combinaisons sont réparties comme suit : 4 (fiabilité humaine) x 4 (fiabilité de l'automatisation). Quatre essais par combinaison, soit 64 essais par participant, sont testés au cours de l'expérience.

Une base de données de paires d'images est utilisée pour l'expérience. Cette base de données provient d'une expérience menée précédemment qui garantit que les deux images sont "équilibrées" entre elles, c'est-à-dire que chaque image a autant de probabilité d'être choisie que l'autre image.

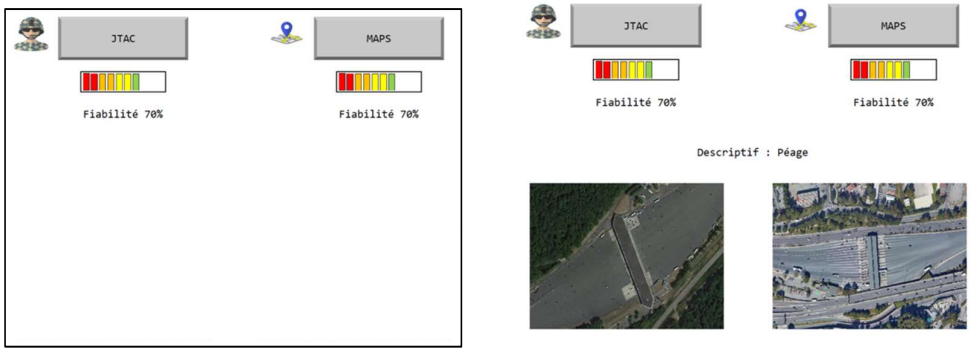
2.3. Procédure

Au cours de l'expérience, les participants sont placés dans le contexte d'une mission de Close Air Support. Dans cette expérience, le participant reçoit des images de cibles possibles de deux agents : un agent humain appelé "JTAC" et une aide automatisée appelée "MAPS". Le JTAC (Joint Terminal Attack Controller) est un agent humain qui guide l'avion depuis le sol pour aider le pilote à détecter la cible ennemie. Le système MAPS est similaire au logiciel Google Earth, et est capable de visualiser la Terre à l'aide d'images aériennes. Le participant est chargé de sélectionner l'une des deux images qui est pour lui la cible la plus probable.

Lors de chaque essai, la description de la cible et la fiabilité des deux agents sont d'abord présentées au participant. La fiabilité des deux agents est présentée sous forme textuelle et schématique (voir Figure 1). Ensuite, deux images satellites fournies l'une par le JTAC et l'autre par l'agent MAPS sont affichées. Les deux images satellites sont conflictuelles car elles n'affichent pas le même emplacement au sol alors qu'elles correspondent toutes deux à la description de la cible (par exemple deux ponts différents). La tâche du participant est de cliquer sur l'image satellite qui, selon lui, correspond à une cible ennemie dans un temps contraint. Puis, il peut passer à l'essai suivant. La tâche contient 64 essais par participant. Si le participant ne parvient pas à répondre dans le temps donné, un essai dans les mêmes modalités de fiabilité lui est proposé après les 64 essais. Le participant a 5 secondes pour prendre une décision. Ce temps de réponse est volontairement court afin d'induire une pression

temporelle forte. Il est basé sur une expérience précédente qui permet de moyenner les temps de réponse des participants.

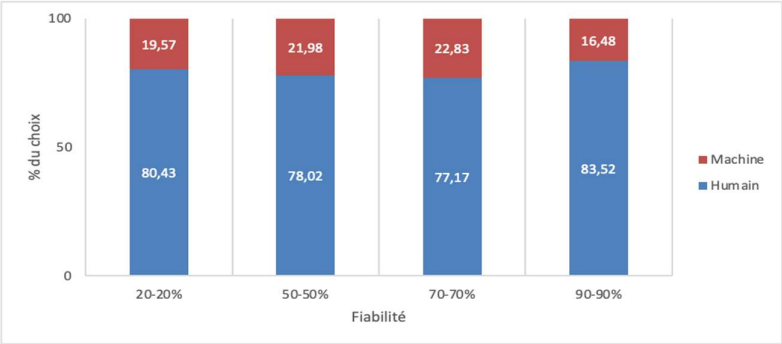
Figure 1 : Exemple d'un essai



3. RÉSULTATS

Quatre tests d'indépendance de type Chi carré sont effectués afin d'analyser la relation entre le choix du participant et la nature de l'agent. Ici, seules les configurations avec une fiabilité équivalente pour l'humain et pour la machine ont été sélectionnées. Pour chaque configuration, les résultats sont les suivants : 20% aide humaine – 20% aide automatisé, X^2 (1, N = 92) = 34,087, p =<.01 ; 50% aide humaine – 50% aide automatisé, X^2 (1, N = 91) = 29,718, p =<.01 ; 70% aide humaine – 70% aide automatisé, X^2 (1, N = 92) = 27,174, p =<.01 ; 90% aide humaine – 90% aide automatisé, X^2 (1, N = 92) = 42,247, p =<.01. Les résultats des quatre configurations montrent que lorsque la fiabilité des aides humaines et automatisées sont équivalentes, les participants sont plus susceptibles de choisir l'aide humaine que l'aide automatisée (voir Figure 2). Cet ensemble de résultats est cohérent avec l'hypothèse 1.

Figure 2 : Histogramme descriptif des choix des participants suivant la fiabilité des agents.



4. DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de cette première expérience était de vérifier si les participants avaient tendance à privilégier une aide automatisée plutôt qu'une aide dans une situation de conflit entre les deux d'agents. Pour cela, les participants ont été placés dans une situation d'arbitrage où ils devaient choisir entre deux informations provenant d'une aide humaine et d'une aide. Les participants devaient tenir compte des niveaux de fiabilité associés à chaque aide pour faire leur choix. Les résultats obtenus sont en accord avec l'hypothèse de départ, i.e. la scénarisation d'une situation à fort enjeu vital, telle que la mission CAS, ne fait pas apparaître de biais d'automatisation. En effet, dans notre expérimentation, il est observé qu'à fiabilité équivalente, le participant préfère choisir une aide humaine plutôt qu'une aide

automatisée. Ces résultats sont cohérents avec plusieurs études (Ezer et al., 2008 ; Rajaonah et al., 2008) et notamment celle de Perkins et al (2010).

Cependant, l'étude de Lyons et stokes (2012) trouve des résultats contradictoires. Dans leur étude, Lyons et Stokes (2012) ont mené une expérimentation visant à comparer la confiance que les participants accordent à une aide humaine et à une aide automatisée dans une tâche de prise de décision. Les niveaux de fiabilité de chaque aide ont été manipulés de manière à ce qu'ils soient équivalents. L'expérimentation est pourtant proche de la nôtre et utilise un contexte risqué qui est le déplacement d'un convoi militaire. Néanmoins, la population utilisée parait différente de la population utilisée pour notre expérimentation, notamment concernant la moyenne d'âge des participants *(M = 40)*. Dans la littérature, le facteur âge influence fortement la prise de décision à haut risques (Ezer et al, 2007). La contradiction des résultats est possiblement due à l'âge de la population utiliser pour l'expérimentation.

Concernant les résultats de l'expérimentation décrite dans cet article, plusieurs explications sont envisageables pour expliquer cette préférence à l'aide humaine. Tout d'abord il est possible que la proposition faite dans cette expérience d'un simple automate puisse être perçue par les participants comme finalement peu performante, relativement à une IA par exemple. Dans ce cas, les participants auraient jugé l'agent technique proposé comme "dépassé" ou "obsolète" et auraient priorisé l'aide humaine. Il apparaît donc nécessaire d'approfondir cette question de la perception du trustee et de reconduire l'expérience en proposant un trustee technologique plus "compétitif", une IA par exemple.

Une autre explication possible est celle de la prise en compte du contexte par le participant. En effet, le contexte est central dans la constitution du lien de confiance dans les modèles de CI. Or, même si l'expérience a été réalisée sur ordinateur, elle scénarisait une situation à fort enjeu vital (la mission CAS). Il est possible qu'une autre scénarisation, avec moins d'enjeu par exemple, ne donnerait pas les mêmes résultats.

Ces observations questionnent l'importance du contexte dans les modèles théoriques de la CM, à l'instar du questionnement mené pour les modèles concernant la CI. Ces deux pistes complémentaires favoriseraient peut-être un rapprochement conceptuel nécessaire à une meilleure compréhension des arbitrages de la prise de décision du gestionnaire de système complexe confronté à des informations concurrentes. Il apparaît donc nécessaire de mener des études expérimentales sur l'influence du contexte dans une situation conflictuelle afin de mieux comprendre la prise de décision d'un individu.

En conclusion, cette expérience a permis de mettre en lumière des résultats en matière de prise de décision face à des informations concurrentes provenant d'une aide humaine ou automatisée dans une situation de conflit. Les participants ont davantage choisi l'information fournie par une aide humaine lorsque les deux aides présentaient un niveau de fiabilité similaire. Les résultats soulèvent des questions intéressantes sur la perception du trustee ainsi que sur l'importance du contexte dans la prise de décision. Des pistes de recherche sont suggérées pour approfondir ces questions et mieux comprendre la prise de décision du gestionnaire de système complexe confronté à des informations concurrentes. Des études en cours explorent ces éléments pour une meilleure compréhension des arbitrages de la prise de décision.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bollon, F. (2020). *Recognized Cyber Picture et Confiance interpersonnelle : Optimiser les activités collaboratives cyber militaires.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.

Bollon, F., Marchand, A. L., Maille, N., Blättler, C., Chaudron, L., & Salotti, J. M. (2019, October). *Interpersonal trust to enhance cyber crisis management. In HFES-Europe 2019-Human Factors and Ergonomics Society, Europe Chapter.*

Breuer, C., Hüffmeier, J., & Hertel, G. (2016). Does trust matter more in virtual teams? A meta-analysis of trust and team effectiveness considering virtuality and documentation as moderators. *Journal of Applied Psychology*, *101*(8), 1151.

Colquitt, J. A., Scott, B. A., & LePine, J. A. (2007). Trust, trustworthiness, and trust propensity: a meta-analytic test of their unique relationships with risk taking and job performance. *Journal of applied psychology*, *92*(4), 909-927.

Cummings, M. L. (2017). Automation bias in intelligent time critical decision support systems. In *Decision making in aviation*(pp. 289-294). Routledge.

De Jong, B. A., Dirks, K. T., & Gillespie, N. (2016). Trust and team performance: A meta-analysis of main effects, moderators, and covariates. *Journal of applied psychology*, *101*(8), 1134.

Deutsch, M. (1973). *The resolution of conflict: Constructive and destructive processes*. Yale University Press.

Dirks, K. T., & Ferrin, D. L. (2002). Trust in leadership: Meta-analytic findings and implications for research and practice. *Journal of applied psychology*, *87*(4), 611-628.

Dzindolet, M. T., Pierce, L. G., Beck, H. P., & Dawe, L. A. (2002). The perceived utility of human and automated aids in a visual detection task. *Human factors*, *44*(1), 79-94.

Endsley, M. R. (2017). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. In *Situational awareness* (pp. 9-42). Routledge.

Endsley, M. R. (1995). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human factors*, *37*(1), 65-84.

Hoff, K. A., & Bashir, M. (2015). Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human factors*, *57*(3), 407-434.

Kahneman, D., & Klein, G. (2009). Conditions for intuitive expertise: a failure to disagree. *American psychologist*, *64*(6), 515-526.

Karsenty, L. (2013). *Comment appréhender la confiance au travail.* La confiance au travail, 13-51.

Kessler, T., Stowers, K., Brill, J. C., & Hancock, P. A. (2017, September). Comparisons of human-human trust with other forms of human-technology trust. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 61, No. 1, pp. 1303-1307). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications

Kohn, S. C., de Visser, E. J., Wiese, E., Lee, Y. C., & Shaw, T. H. (2021). Measurement of trust in automation: A narrative review and reference guide.S *Frontiers in psychology*, *12*, 604977.

Lee, J. D., & Moray, N. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *International journal of human-computer studies*, *40*(1), 153-184

Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, *46*(1), 50-80.

Lewandowsky, S., Mundy, M., & Tan, G. (2000). The dynamics of trust: comparing humans to automation. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *6*(2), 104.

Lyons, J. B., Ho, N. T., Fergueson, W. E., Sadler, G. G., Cals, S. D., Richardson, C. E., & Wilkins, M. A. (2016). Trust of an automatic ground collision avoidance technology: A fighter pilot perspective. *Military Psychology*, *28*(4), 271-277.

Lyons, J. B., & Guznov, S. Y. (2019). Individual differences in human–machine trust: A multi-study look at the perfect automation schema. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *20*(4), 440-458.

Madhavan, P., & Wiegmann, D. A. (2007). Similarities and differences between human–human and human–automation trust: an integrative review. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *8*(4), 277-301.

Mayer, R. C., Davis, J. H., & Schoorman, F. D. (1995). An integrative model of organizational trust. *Academy of management review*, *20*(3), 709-734.

McGuirl, J. M., & Sarter, N. B. (2006). Supporting trust calibration and the effective use of decision aids by presenting dynamic system confidence information. *Human factors*, *48*(4), 656-665.

Merritt, S. M., Unnerstall, J. L., Lee, D., & Huber, K. (2015). Measuring individual differences in the perfect automation schema. *Human factors*, *57*(5), 740-753.

Muir, B. M. (1987). Trust between humans and machines, and the design of decision aids. *International journal of man-machine studies*, *27*(5-6), 527-539.

Muir, B. M., & Moray, N. (1996). Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, *39*(3), 429-460.

Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Human factors*, *52*(3), 381-410.

Rempel, J. K., Holmes, J. G., & Zanna, M. P. (1985). Trust in close relationships. *Journal of personality and social psychology*, *49*(1), 95-112.

Riley, V. A. (1994). *Human use of automation*. University of Minnesota.

Rotter, J. B. (1980). Interpersonal trust, trustworthiness, and gullibility. *American psychologist*, *35*(1), 1.

Ryan, M. (2020). In AI we trust: ethics, artificial intelligence, and reliability. *Science and Engineering Ethics*, *26*(5), 2749-2767.

Sarter, N. B., & Schroeder, B. (2001). Supporting decision making and action selection under time pressure and uncertainty: The case of in-flight icing. *Human factors*, *43*(4), 573-583.

Schoorman, F. D., Mayer, R. C., & Davis, J. H. (2007). An integrative model of organizational trust: Past, present, and future. *Academy of Management review*, *32*(2), 344-354.

CL : *Construction d'un Questionnaire d'auto-Évaluation de la Performance de la Collaboration entre un opérateur et un système autonome (QEPC) : étude préliminaire*

Théodore Letouzé, Hélène Unrein & Alexis Boffet

Bordeaux university, Bordeaux INP - ENSC - IMS UMR CNRS 5218

theodore.letouze@ensc.fr ; helene.unrein@ensc.fr ; alexis.boffet@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ

La performance de la collaboration du couple humain machine est souvent abordée sous un aspect théorique dans la littérature, peu d'outils sont disponibles pour son évaluation pratique. Cet article présente les résultats de conception d'un questionnaire pour l'auto-évaluation par un opérateur humain de sa collaboration avec un système autonome. Le QEPC est construit pour comparer différentes situations en termes de performance de la collaboration. Un questionnaire préliminaire est composé de 31 items sous la forme de différenciateurs sémantiques, répartis sur 4 sous-composantes théoriques Les caractéristiques du QEPC ont été évaluées par une étude quantitative en ligne sur un échantillon de 232 utilisateurs. Puis, une analyse (ACP, PAF, etc.) stabilise une version finale à 17 items. Les résultats de cette étude produisent 3 dimensions et donnent des caractéristiques de validité et de fidélité satisfaisantes. Les dimensions observées ne reflètent pas les 4 sous-composantes théoriques. Cela nous amène à penser que la corrélation entre les dimensions est plus forte qu'estimée.

MOTS-CLÉS

Questionnaire, performance de la collaboration, méthodologie, différenciateur sémantique, HAT.

1. INTRODUCTION

Nous évoluons dans un environnement de plus en plus complexe. Afin de gérer cette complexité nous avons fréquemment recours à l'utilisation de système d'assistance. Ainsi, le couple homme-machine apparaît au centre du système socio-technique. On retrouve ces interactions dans de nombreux domaines : la conduite automobile (véhicule autonome, aide à la conduite, ...)(Marti et al., 2022), la finance (algorithmes de marché..)(Morselli, 2015), l'aéronautique (auto-pilote, ...)(Letouzé et al., 2020), le médical (aide au diagnostic)(Séroussi & Bouaud, 2014), l'industrie (Industie 4.0)(Bousdekis et al., 2020). L'agent autonome est une entité informatique dotée d'un degré partiel ou élevé d'autonomie en matière de prise de décision, d'adaptation et de communication (Demir et al., 2016; Mercado et al., 2016; Myers et al., 2018). La technologie n'est plus simplement un outil, mais plutôt un pair qui travaille activement vers les objectifs de l'équipe.

Cette transition a donné naissance au concept de "*Human-Autonomy Teaming*" (HAT) (McNeese et al., 2018). Le HAT rend compte de cette collaboration mêlant Intelligence artificielle et Intelligence naturelle. Les membres de l'équipe ont un rôle distinct afin d'atteindre un objectif commun en tant que collectif (O'Neill et al., 2020).

L'amélioration de l'efficacité des équipes HAT ne repose pas uniquement sur des travaux visant à rendre les machines encore plus indépendantes. Un défi important consiste également à trouver des solutions pour transformer les systèmes autonomes en meilleurs coéquipiers, capables de se joindre aux opérateurs humains dans des activités de coopération hautement interdépendantes et sophistiquées (Johnson et al., 2011).

Il existe certaines méthodes objectives d'évaluation du HAT, comme le suivi de la charge de travail des opérateurs et l'étude des données comportementales et physiologiques (Kostenko, 2017; Rauffet, 2021). Dans notre étude, nous voulons évaluer la collaboration homme-système. Notre posture est de considérer que la collaboration ressentie par l'humain au cours de la situation de travail est un indicateur de la performance de la collaboration. Un questionnaire à différenciateurs sémantiques nous permet de proposer une méthode d'évaluation de la performance de la collaboration. Ainsi, cette étude permet d'apporter de nouveaux outils méthodologiques quant à l'évaluation de la performance de la collaboration humain-système.

2. MÉTHODE

2.1. Modèle théorique

Cooke et al. (2020) appréhendent la notion de performance de collaboration à travers trois grands concepts : (1) L'état de l'équipe (Team states) qui regroupe différents états propres à l'équipe au cours de la collaboration comme : la confiance, la charge de travail, la résilience et la conscience de situation ; (2) Les processus d'interaction au sein de l'équipe (Team Interaction Processes) dans lesquels on retrouve les processus d'équipe (communication, synchronisation des membres de l'équipe, processus interne à l'équipe, coordination) et la performance d'équipe (performance à la tâche, utilisation des ressources, planification) ; (3) Les contributions individuelles à l'équipe (Team inputs) qui regroupent les connaissances, l'expertise et le savoir-faire propre à chaque membre de l'équipe.

L'approche *in the head* (ITH) (Cooke et al., 2017) se focalise sur les **processus internes**, ce sont des processus cognitifs qui se produisent au niveau de l'individu ou de l'équipe. L'approche *between the heads* (BTH)(Cooke et al., 2000) se focalise sur les **processus d'interaction** impliquées dans l'activité d'équipe. La connaissance globale de l'équipe résulte d'un traitement cognitif sous forme de communications, d'évaluations de la situation et de coordination. Les processus externes de l'équipe sont mesurés, afin d'en prédire la performance.

L'approche ITH repose sur la notion de représentation et réduit l'équipe à une somme d'individualités. En revanche, selon l'approche BTH, la connaissance émerge de l'interaction entre les membres de l'équipe. ITH et BTH sont deux paradigmes de recherche qui ne sont pas en compétition ou en opposition, mais doivent être utilisés de manière complémentaires (N. Cooke et al., 2017). C'est donc autour de ces deux concepts que se construit l'évaluation de la cognition d'équipe.

Pour la suite de ce travail, la première contrainte est que les sous-composantes doivent pouvoir être décrites sur un continuum avec la possibilité d'en rendre compte en langue française. Par exemple, la charge cognitive se qualifie de faible à forte. La seconde est que les sous-composantes ne doivent pas dépendre des tâches réalisées. Par exemple, observer la conscience de la situation d'un opérateur nécessite un questionnaire où l'opérateur explicite le contenu de sa vision de la situation actuelle afin de la comparer à l'état réel. Cette sous-composante est dépendante de la tâche. Les 4 sous-composantes restantes sont confiance, charge cognitive, processus d'équipe et performance d'équipe.

2.2. Construction du questionnaire

Pour construire ce questionnaire nous nous basons sur les différenciateurs sémantiques. Les différentes étapes de construction de ces questionnaire s'inspirent des méthodologies de traduction transculturelle (Lallemand et al., 2015; Vallerand, 1989). Elle se décompose en 3 étapes : (1) préparation d'une version préliminaire et (2) évaluation par une approche de type comité, (3) pré-test de la version préliminaire par méthode de sondage aléatoire, (4) une analyse de la fidélité ainsi qu'une évaluation de la validité de construit par analyse factorielle.

2.2.1. Différenciateurs sémantiques

Afin d'évaluer les 4 sous-composantes de notre modèle théorique nous utilisons les différenciateurs sémantiques ou échelles sémantiques différentielles. Ils visent à mesurer certaines dimensions et attributs d'un objet. L'objectif est d'évaluer statistiquement les impressions subjectives des participants vis-à-vis d'un objet (Osgood et al., 1957).

La technique du différenciateur sémantique consiste en une série de paires d'adjectifs qui sont présentés à un sujet. Ces adjectifs s'opposent deux à deux et désignent des qualités abstraites, leur paire formant un item. La réponse est à donner sur une échelle à 6 ou 7 niveaux qui ne sont pas graduées textuellement. Quand il existe, le point central de l'échelle est le niveau de neutralité.

Plusieurs items se réfèrent à la même dimension. Le score propre à une dimension correspond aux valeurs moyennes recueillies pour l'ensemble des items correspondants à cette même dimension. Une analyse factorielle des réponses permettra de mettre en évidence des regroupements caractéristiques des items. Ces regroupements reflètent les différentes dimensions indépendantes de l'objet.

Dans cette optique, nous avons cherché à déterminer des dyades de mots permettant de couvrir les 4 sous-composantes théoriques.

2.2.2. Création des paires de mots

L'objectif de ce travail a été de trouver plusieurs paires de mots par sous-composantes. Certains items proviennent d'autres questionnaires (Lallemand et al., 2015; Osgood et al., 1957) tandis que d'autres ont été adaptés ou développés spécifiquement pour la présente étude, dans les deux cas ils correspondent au champ sémantique des sous-composantes du cadre théorique. Des adjectifs ou verbes ont été choisis en s'assurant que la paire de mots contient une seule idée. Le choix des items a été effectué en collaboration avec des experts en facteurs humains, à partir des définitions des sous-composantes. La convergence des points de vue des experts a abouti à la sélection des paires de mots. Le nombre limité d'experts facilite le travail d'identification et de sélection des paires de mots. Les experts ont été soumis à deux étapes successives de questionnements.

La première étape a été d'expliciter les 4 sous-composantes (confiance d'équipe, charge de travail d'équipe, processus d'équipe et performance d'équipe) au travers d'un ensemble de paires de mots. Pour cela, une synthèse d'information a été effectuée sur les concepts sous deux dimensions distinctes : synonyme et antonyme. Ils ont effectué une recherche méthodique d'information et de groupe de mots conceptuellement les plus proches de chaque concept. Cette recherche par proxémie a été réalisée à l'aide de l'outil de recherche de la plateforme CNRT[19] (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales - www.cnrtl.fr).

[19] Cette plateforme a pour objectif d'assurer la mutualisation de ressources linguistiques de type corpus, dictionnaires, lexiques avec une focalisation particulière sur le français et les langues de France. Cet outil a été développé par le laboratoire ATILF (Analyse et Traitement Informatique de la Langue Française), unité mixte de recherche (UMR 7118).

La paire de mot associée à chaque concept a été choisie grâce à un processus d'itération qui consiste à passer d'un mot à l'autre par un jeu de synonymie et d'antonymie. On peut donner comme exemple d'évolution de dyade ces 3 paires de mot : "magique/pragmatique" a été remplacé par "magique/logique", "délègue/centralisée" par "délègue/ne délègue pas" et "aisé/fastidieux" par "aisé/laborieux". Cette itération s'est effectuée jusqu'au consensus des experts sur la capacité du couple de mots à définir un concept donné.

La seconde étape a été d'évaluer la pertinence de chaque paire de mots dans des situations de collaboration différentes (véhicule autonome, coaction avec un bras robot, gestion de drones…). Puis les experts ont étendu la liste des items en répétant l'étape 1 jusqu'à pouvoir qualifier toutes les situations avec l'ensemble des mots envisagés. Une liste de 31 paires de mots a été fournie par les experts.

2.2.3. Validation de la version initiale du questionnaire

2.2.3.1. Pré-test des items par un petit échantillon de non experts

Les items ayant été conçus et modifiés, un pré-test a été réalisé. Ce pré-test est la dernière étape avant de procéder à l'administration du questionnaire à un panel. L'objectif est double : vérifier la compréhension et la fluidité des items, d'identifier les erreurs d'items et de consignes, ainsi que d'évaluer la durée moyenne de réponse. Elle se réalise auprès d'un petit échantillon d'individus. Cet échantillon ne doit pas nécessairement être représentatif et ni de grande taille (Laveault, 2012). Un groupe constitué de N (3) personnes a été retenu pour participer au pré-test. Elles ont toutes répondu à l'intégralité des questions.

Ces pré-tests ont mis en avant des incompréhensions liées à certaines paires d'items, ainsi qu'un problème lié à la formulation des consignes.

Pour chaque item qui présente un problème de compréhension, l'étape de synonymie et antonymie a été effectuée à nouveau. Dans ce cas, un second mot a été ajouté pour clarifier le terme par exemple le mot "verbeux" a été complété par "parle beaucoup".

2.2.3.2. Nos paires de mots : première version du questionnaire : 31 questions

Le questionnaire se présente de la manière suivante : chaque paire de mots représente les extrémités d'une échelle à 7 points (cf. Figure 1). Chaque participant choisit la prédominance d'un terme par rapport à l'autre en cochant un niveau sur l'échelle.

Les sujets doivent répondre à la question suivante : « Ce questionnaire se présente sous forme de paires de mots pour vous assister dans l'évaluation du système et de son utilisation. Chaque paire représente des contrastes. Les échelons entre les deux extrémités permettent de décrire l'intensité de la qualité choisie. En utilisant le couple de mots suivants, comment évaluerez-vous l'usage que vous avez du système ? ». Cette consigne est volontairement neutre en évoquant un usage avec un système non pas avec un partenaire pour ne pas induire la réponse du sujet.

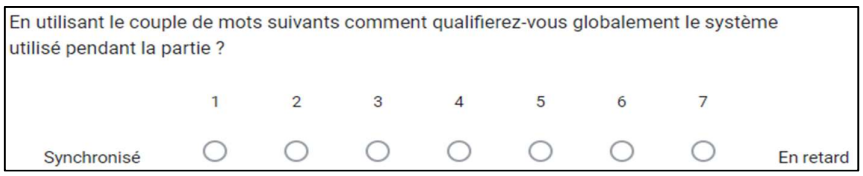


Figure 1 : Illustration du type de question du questionnaire.

Le questionnaire comporte 31 paires de mots associées à une des 4 sous-composantes (6 à 13 paires de mots par sous-composante). Les paires de mots sont réparties de la manière suivante :

- **Confiance d'équipe** (6 paires) : irresponsable - responsable, critiquable - recommandable, contraignant - permissif, digne de confiance - inspire de la méfiance, magique - logique, fiable - douteux.
- **Charge de travail d'équipe** (5 paires): assiste - délaisse, délègue - ne délègue pas, aisé - laborieux, plaisant - fastidieux, saturé - sous exploité.
- **Processus d'équipe** (13 paires) : Informatif - peu informatif, pertinent - non pertinent, clair - confus, dépendant - indépendant, chaotique - organisé, informé - lacunaire, synchronisé - en retard, proactif - réactif, influençable - têtu, compréhensif - intransigeant, concis - verbeux, précis -flou, compréhensible - incompréhensible,
- **Performance d'équipe** (7 paires) : Incompétent - compétent, acceptable - optimal, inadaptée - performant, économe - dépensier, prévoit - improvise, technique - humain, transparent - opaque/boîte noire.

2.2.4. Validité des items

La réalisation d'une étude quantitative a permis la validation du questionnaire. Le questionnaire a été soumis à un panel de sujets dans une situation représentative d'une collaboration avec un dispositif intelligent. Le système évalué est une application de navigation GPS : Waze Mobile Ltd. Nous avons pris un des systèmes intelligents se rapprochant le plus d'un HAT, et utilisé par une grande masse de personnes (la validation d'un questionnaire demande un nombre important de réponses), à notre connaissance il n'existe pas réellement de HAT utilisé largement par le grand public.

Les données recueillies ont fait l'objet d'une Factor Exploratory Analysis qui a pour objectif l'élimination des dyades de mots qui apportent peu de sens pour ne garder que les plus représentatives pour chaque sous-composante (Nunnally & Bernstein, 1994). Pour cela l'évaluation se décompose en deux indices : validité et fiabilité.

La validité de contenu se réfère à la représentativité des items pour mesurer notre construit : le degré de représentation de l'item à la dimension. Une bonne validité s'assure de minimiser les erreurs systémiques. La fiabilité ou fidélité se réfère à sa capacité à reproduire des résultats similaires lorsqu'il est administré plusieurs fois pour une même population. Elle est une mesure de la précision et de la constance des scores obtenus. L'analyse de la fiabilité des items par dimensions a pour objectif de montrer que les items d'une même dimension sont corrélés et cohérents entre eux. La fiabilité se quantifie par des indices de consistance interne, notamment par l'alpha de Cronbach (Nunnally, 1978). Cet indice de fiabilité est compris entre 0 et 1. Un coefficient alpha de Cronbach supérieur à 0.70 permet de conclure une bonne consistance interne des échelles, donc une bonne fiabilité (ou fidélité).

3. RÉSULTATS

3.1. Participants et protocole

Un mail a été envoyé aux répondants les invitant à évaluer, de manière anonyme, le système Waze, et à remplir un questionnaire démographique. Le questionnaire a été soumis à 280 personnes. L'étude porte sur 232 réponses valides, pour des personnes qui disposent d'une bonne connaissance pratique de l'application. Pour les identifier, une question portant sur l'expérience de cette application a été appliquée. La passation s'est déroulée aux mois de mars et avril 2022.

Nous pouvons considérer qu'un nombre de réponses acceptable pour traiter statistiquement le questionnaire est de 5 sondés par item (Erdinç & Lewis, 2013; Lewis, 2002; Nunnally, 1978). Pour 31 items, cela correspond à un total de 155 participants, les 232 répondants sont donc suffisants.

Les corrélations fortes entre les sous-composantes du modèle théorique ne nous permettent pas de définir la structure factorielle de nos données. Nous adoptons donc une approche exploratoire.

En utilisant l'analyse factorielle, des dimensions ont été construites permettant de comparer les concepts attendus et la réalité perçue. La démarche employée est décrite dans les 4 étapes qui suivent. Les études statistiques qui vont être décrites ont été réalisées à l'aide du logiciel Rstudio version 1.3 et à l'aide du package PCAmixdata version 1.3 (Chavent, Kuentz-Simonet, Labenne, & Saracco, 2017).

La première étape de l'analyse identifie la présence de réponses aberrantes à l'aide du calcul de la distance de Mahalanobis qui s'effectue par rapport au participant moyen (moyenne de chaque item représentant un participant moyen théorique) de l'échantillon d'étude. La fixation d'un seuil de rejet (p.value<0.001) pour le test du Khi-deux associé a détecté 14 sujets dont les points sont aberrants et de les invalider.

La deuxième étape est de valider les conditions d'application de l'analyse factorielle exploratoire, normalité, corrélation et la sphéricité des items : (1) Le test de normalité de Kolmogorov-Smirnov valide l'hypothèse de distribution normale des réponses, toutes les p.values sont supérieures à 0.05 ; (2) L'analyse factorielle nécessite la corrélation des variables d'entrée (Lloret et al., 2017), le calcul du critère de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) indique à quel point l'ensemble des variables retenues est un ensemble cohérent et permet de constituer une ou des mesures adéquates de concepts. Nous conservons les questions avec un indice supérieur à 0.4. Toutes les questions ont un indice supérieur à 0.4 ; (3) Le test de sphéricité de Bartlett vérifie l'hypothèse nulle selon laquelle toutes les corrélations variables à variables, seraient égales à zéro. L'hypothèse nulle est rejetée avec une p.value < 2e-16. Tous les pré-requis sont remplis pour effectuer l'analyse factorielle suivante.

La méthode Principal Factor Analysis (PAF) est une méthode d'estimation par les moindres carrés cherchant à maximiser les communautés, cela constitue la troisième étape. Les estimations initiales des communautés sont des coefficients de corrélation multiple de chaque variable par rapport à toutes les autres. Les questions ayant un coefficient inférieur à 0.4 (Cudeck, 2000) sont supprimées. Ce qui fait un total de 12 questions supprimées. Il est nécessaire de vérifier les pré-requis de nouveau afin de s'assurer que la structure des données n'ait pas changé. Les nouvelles valeurs des indices KMO et Bartlett respectent les conditions de validation.

L'ensemble de cette démarche nous amène à conserver 19 questions (Tableau 1, ci-après).

L'analyse en composante principal (ACP) effectuée est une méthode synthétisant l'information et révélant la structure sous-jacente d'un concept puisqu'il s'agit d'une méthode d'analyse des données multivariées qui permet d'explorer simultanément les relations qui existent entre plusieurs variables (Field, 2009). Le but est d'observer les corrélations des items avec chaque dimension. Le nombre de facteurs a été déterminé en fonction du critère de Kaiser (Braeken & Van Assen, 2017). Les 3 premières composantes ont des valeurs propres supérieures à 1 et ont donc été sélectionnées.

La factorisation de l'axe principal (3 dimensions) avec rotation oblique promax (avec normalisation de Kaiser et convergence de la rotation en 5 itérations) a été exécutée pour la liste des items restants. La matrice de forme renvoie des coefficients indiquant la contribution de chaque variable à chaque facteur. L'item PF5 ayant un score de corrélations inférieur à 0.3 sur tous les facteurs est supprimé (Lallemand et al., 2015). L'item mixte C4, significatif sur deux dimensions (corrélation de 0.32, Tabachnick & Fidell, 2001) est supprimé.

Une analyse factorielle a été effectuée sur les 17 items retenus. Les dimensions ayant un nombre suffisant d'item (entre 4 et 6 items par dimensions), elles ont toutes été retenues.

La validité discriminante (Campbell & Fiske, 1959) est obtenue lorsque les indicateurs supposés mesurer des phénomènes différents sont faiblement corrélés entre eux. Tous les facteurs sont corrélés à moins de 0.7 : leur variance n'est pas majoritairement partagée. Notre questionnaire présente donc une bonne validité discriminante. Les questions forment trois dimensions distinctes.

<u>Tableau 1 :</u> "Initial" est la représentation des items par rapport à tous les autres. Les items en gras ont une faible représentation et seront supprimés. Les items sont associées à une sous-composante de l'équipe : confiance (C), charge de travail (W), processus d'équipe (PE), performance (PF); suivi d'un numéro incrémenté. Les colonnes "dim" sont les scores de corrélation des items aux dimensions. * signifie que l'item a été supprimé.

	Initial	Dim 1	Dim2	Dim3
Question.1 - Informatif-peu informatif - PE1	0.54905			0.823
Question.2 - pertinent-non pertinent - PE2	0.68132			0.918
Question.3 - clair-confus - PE3	0.65813			0.739
Question.4 - dépendant-indépendant - PE4*	**0.24542**			
Question.5 - chaotique-organisé - PE5	0.52677		0.724	
Question.6 - informé-lacunaire - PE6	0.64291			0.451
Question.7 - synchronisé-en retard - PE7	0.48350	0.331		
Question.8 - proactif-réactif - PE8*	**0.18105**			
Question.9 - Incompétent-compétent - PF1	0.56170		0.754	
Question.10 - acceptable-optimal - PF2*	**0.31354**			
Question.11 - inadaptée-performant - PF3	0.56665		0.651	
Question.12 - économe-dépensier - PF4*	**0.34454**			
Question.13 - prévoit-improvise - PF5*	0.41955	**0.291**		**0.291**
Question.14 - technique-humain - PF6*	**0.16704**			
Question.15 - irresponsable-responsable - C1	0.41017		0.642	
Question.16 - critiquable-recommandable - C2	0.56340		0.824	
Question.17 - contraignant-permissif - C3*	**0.30258**			
Question.18 - digne de confiance-inspire de la méfiance - C4*	0.62609	**0.396**	**0.346**	
Question.19 - magique-logique - C5*	**0.17266**			
Question.20 - assiste-délaisse - W1	0.46194	0.518		
Question.21 - délègue-ne délègue pas - W2*	**0.25305**			
Question.22 - transparent-opaque/boîte noire - PF7	0.41591		0.355	
Question.23 - influençable-têtu - PE9*	**0.36212**			
Question.24 - compréhensif-intransigeant - PE10*	**0.38714**			
Question.25 - aisé-laborieux - W3	0.57966	0.860		
Question.26 - concis-verbeux - PE11*	**0.34391**			
Question.27 - plaisant-fastidieux - W4	0.65954	0.803		
Question.28 - précis-flou - PE12	0.64791	0.823		
Question.29 - compréhensible-incompréhensible - PE13	0.72725	0.838		
Question.30 - fiable-douteux - C6	0.67667	0.741		
Question.31 - saturé-sous exploité - W5*	**0.24963**			

Le coefficient alpha de Cronbach a été calculé afin d'évaluer la fiabilité interne du questionnaire. Comme le souligne Laveault (2012), l'alpha de Cronbach doit être utilisé sur des petits groupes d'items (<40) et uniquement à la suite d'une analyse factorielle exploratoire et confirmatoire. Les valeurs de l'alpha de Cronbach obtenues se trouvent entre 0.8 et 1. Ces coefficients traduisent une bonne cohérence des items au sein de chaque dimension : ces dimensions ne sont pas celles que nous avions initialement identifiées pour caractériser la performance de la collaboration.

3.2. Seconde version du questionnaire : 17 questions

Le questionnaire final est composé au total de 17 paires de mots. Chaque dimension comprend entre 4 et 7 paires de mots. A ce stade, ces dimensions n'évoquent plus individuellement les sous-composantes de la performance de la collaboration. Les dimensions regroupent des items de plusieurs sous-composantes. Les paires de mots de chaque dimension sont les suivants :

- **Dimension 1 - 7 items** : synchronisé - en retard (PE7), assiste - délaisse (W1), aisé - laborieux (W3), plaisant - fastidieux (W4), précis -flou (PE12), compréhensible - incompréhensible (PE13), fiable - douteux (C6).
- **Dimension 2 - 6 items** : chaotique - organisé (PE5), Incompétent -compétent (PF1), inadaptée - performant (PF3), irresponsable - responsable (C1), critiquable - recommandable (C2), transparent - opaque/boîte noire (PF7).
- **Dimension 3 - 4 items** : Informatif - peu informatif (PE1), pertinent - non pertinent (PE2), clair - confus (PE3), informé - lacunaire (PE6)

4. DISCUSSION

L'objectif de notre étude est de fournir un outil méthodologique d'évaluation de la performance de la collaboration. Pour cela, nous avons choisi de mettre en place un questionnaire d'auto-évaluation. L'analyse des réponses obtenues montre que le questionnaire présente une structure factorielle différente de celle proposée dans la partie théorique. Les fortes corrélations entre les sous-composantes théoriques laissaient sous-entendre ce résultat. Il apparaît donc difficile de différencier les différentes sous-composantes de la collaboration au travers des 3 dimensions de l'analyse factorielle. Cette limite de la capacité d'évaluation de notre questionnaire peut être attribuée soit à la spécificité de l'objet d'étude ici un dispositif d'assistance de conduite ; soit à la manière dont nous avons produit le construit théorique. Puisqu'il n'existe pas de consensus quant à la définition de la performance de la collaboration, les concepts choisis peuvent être trop précis (proactif - réactif) ou non exhaustifs. Une des pistes d'amélioration serait d'administrer ce questionnaire à un nouveau panel de sujets en les questionnant sur un objet différent. Nous pouvons donc tirer comme première conclusion que le questionnaire évalue dans sa globalité la performance de la collaboration (validité interne et fiabilité discriminante), mais qu'il n'en distingue pas les sous-composantes.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bousdekis, A., Apostolou, D., & Mentzas, G. (2020). A human cyber physical system framework for operator 4.0–artificial intelligence symbiosis. *Manufacturing letters*, *25*, 10-15.

Braeken, J., & Van Assen, M. A. (2017). An empirical Kaiser criterion. *Psychological methods*, *22*(3), 450.

Campbell, D. T., & Fiske, D. W. (1959). Convergent and discriminant valid by the multimethod-multitrait matrix. *Psychological Bulletin*, *56*, 833-853.

Cooke, N., Demir, M., & Huang, L. (2020). A framework for human-autonomy team research. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 134-146.

Cooke, N., Gorman, J., & Kiekel, P. A. (2017). Communication as team-level cognitive processing. In

Macrocognition in teams (p. 51-64). CRC Press.

Cooke, N. J., Salas, E., Cannon-Bowers, J. A., & Stout, R. J. (2000). Measuring team knowledge. *Human factors*, *42*(1), 151-173.

Cudeck, R. (2000). Exploratory factor analysis. In *Handbook of applied multivariate statistics and mathematical modeling* (p. 265-296). Elsevier.

Erdinç, O., & Lewis, J. R. (2013). Psychometric evaluation of the T-CSUQ: The Turkish version of the computer system usability questionnaire. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *29*(5), 319-326.

Field, A. (2009). Discovering Statistics through SPSS:(and sex and drugs and rock'n'roll). *Thousand oaks*.

Johnson, M., Bradshaw, J. M., Feltovich, P. J., Jonker, C. M., Van Riemsdijk, B., & Sierhuis, M. (2011). The fundamental principle of coactive design : Interdependence must shape autonomy. *Coordination, Organizations, Institutions, and Norms in Agent Systems VI: COIN 2010 International Workshops, COIN@ AAMAS 2010, Toronto, Canada, May 2010, COIN@ MALLOW 2010, Lyon, France, August 2010, Revised Selected Papers*, 172-191.

Kostenko, A. S. (2017). *Évaluation multidimensionnelle et dynamique de la maitrise de la situation par l'opérateur : Création d'un indicateur temps réel de charge mentale pour l'activité de supervision de drones*. 270.

Lallemand, C., Koenig, V., Gronier, G., & Martin, R. (2015). Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs. *European Review of Applied Psychology*, *65*(5), 239-252.

Laveault, D. (2012). Soixante ans de bons et mauvais usages du alpha de Cronbach. *Mesure et évaluation en éducation*, *35*(2), 1-7.

Letouzé, T., Créno, L., Diaz-Pineda, J., Dormoy, C.-A., Hourlier, S., & André, J.-M. (2020). Mental Representation Impact Analysis (MERIA), a method for analyzing mental representations for the design of HMI. A case study in aeronautics. *Le travail humain*, *1*, 61-89.

Lewis, J. R. (2002). Psychometric evaluation of the PSSUQ using data from five years of usability studies. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *14*(3-4), 463-488.

Lloret, S., Ferreres, A., Hernández, A., & Tomás, I. (2017). The exploratory factor analysis of items : Guided analysis based on empirical data and software. *Anales de psicología*, *33*(2), 417-432.

Marti, P., Jallais, C., Koustanaï, A., Guillaume, A., & Mars, F. (2022). Impact of the driver's visual engagement on situation awareness and takeover quality. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, *87*, 391-402.

McNeese, N. J., Demir, M., Cooke, N. J., & Myers, C. (2018). Teaming with a synthetic teammate : Insights into human-autonomy teaming. *Human factors*, *60*(2), 262-273.

Morselli, A. (2015). The decision-making process between convention and cognition. *Economics & Sociology*, *8*(1), 205.

Nunnally. (1978). An overview of psychological measurement. *Clinical diagnosis of mental disorders: A handbook*, 97-146.

Nunnally, J., & Bernstein, I. (1994). *Psychometric Theory 3rd edition (MacGraw-Hill, New York)*.

O'Neill, T., McNeese, N., Barron, A., & Schelble, B. (2020). Human–Autonomy Teaming : A Review and Analysis of the Empirical Literature. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 001872082096086. https://doi.org/10.1177/0018720820960865

Osgood, C. E., Suci, G. J., & Tannenbaum, P. H. (1957). *The measurement of meaning*. University of Illinois press.

Rauffet, P. (2021). *Tools and methods for Human-Autonomy Teaming : Contribution to cognitive state monitoring and system adaptation.(Méthodes et outils pour le développement des Équipes Humains-Systèmes Autonomes : Contribution à l'évaluation des états cognitifs de l'opérateur et à l'adaptation des systèmes sociotechniques).* University of Southern Brittany, France.

Séroussi, B., & Bouaud, J. (2014). Systèmes informatiques d'aide à la décision en médecine : Panorama des approches utilisant les données et les connaissances. *Pratique neurologique-FMC*, *5*(4), 303-316.

Vallerand, R. J. (1989). Vers une méthodologie de validation trans-culturelle de questionnaires psychologiques : Implications pour la recherche en langue française. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, *30*(4), 662.

CC : *Le Cognitive Warfare : contexte, concept et enjeux*

Marie MORELLE, Damien MARION, Julien CEGARRA, Jean-Marc ANDRÉ
Univ. Bordeaux, Bdx INP – ENSC – IMS, THALES LAS France, 33400 Talence, mmorelle@ensc.fr
THALES LAS France, HEAL, 33400 Talence, damien.marion@thalesgroup.com
INU Champollion, 81012 Albi Cedex, julien.cegarra@univ-jfc.fr
Univ. Bordeaux, Bdx INP – ENSC – IMS, 33400 Talence, jean-marc.andre@ensc.fr

RÉSUMÉ

Le co*gnitive warfare* est un concept émergent dans la littérature, en lien avec le perfectionnement des nouvelles technologies et le développement des connaissances sur la cognition, ainsi que l'implication de l'opinion publique dans les conflits. Il est actuellement débattu au sein de l'OTAN. Utilisé pour déstabiliser l'adversaire ou le faire "se détruire de l'intérieur", il devient une préoccupation importante et il faut apprendre à le détecter et à s'en protéger. Cette communication vise à définir le *cognitive warfare* et ses acteurs, et à en poser les enjeux.

MOTS-CLÉS

Cognitive warfare, stratégies d'influence, actions de déstabilisation, influence, conception de systèmes

1. INTRODUCTION

Le sujet qui nous intéresse ici est le *cognitive warfare*, ou guerre cognitive. Bernal et al. (2020) suggèrent que le *cognitive warfare* moderne est apparu pendant la Guerre Froide : pour éviter une nouvelle guerre ouverte destructrice entre super-puissances, celles-ci ont mis en place des conflits par procuration, en soutenant et opposant les uns aux autres des petits pays ou groupes armés. Dans ce cadre, de nombreuses actions ont été menées discrètement, notamment par la CIA, le FBI ou le KGB. Depuis les années 2000, on observe une augmentation des actions de déstabilisation (Prier, 2020), en particulier par la Russie lors de tentatives d'influence d'élections, propagande, cyberattaques, notamment envers les pays baltes, la France ou encore les États-Unis (Backes & Swab, 2019). Certains, comme la Russie et la Chine mènent des recherches en neurosciences et technologie à des fins médicales, sociales et militaires, qui peuvent servir de moyens d'action pour le *cognitive warfare* (du Cluzel, 2020). Mais c'est dans le domaine de l'économie que le terme de *cognitive warfare* a d'abord été utilisé, pour décrire les influences et actions de déstabilisation mises en place par des entreprises, envers les consommateurs, les législateurs (lobbying) ou encore des entreprises concurrentes (Harbulot, 2004).

Le *cognitive warfare* représente donc un nouveau mode de conflit, non pas une guerre ouverte sur un champ de bataille, mais une guerre non déclarée qui a pour objectif d'influencer les mécanismes cognitifs, notamment la prise de décision d'un adversaire ou d'un concurrent. C'est un terme récent qui ne fait pas encore l'unanimité. Nous en proposons une définition, et évoquons les enjeux de ce nouveau type d'affrontement pour l'ergonomie.

2. CONTEXTE ET CONCEPTS

2.1. Le Cognitive warfare

Le *cognitive warfare* est un concept émergent qui désigne des actions brouillant les frontières entre la guerre et la paix (Orinx & Struye de Swielande, 2021) et visant à affaiblir l'ennemi pour obtenir un avantage tactique ou stratégique (Montocchio, 2021), dans les domaines militaire, économique,

ludique, sportif, etc. Il englobe différentes opérations menées contre l'esprit humain, ciblant la cognition et la décision individuelles comme collectives. Il peut être mené et subi à différentes échelles, et à distance : populations, soldats, experts, ingénieurs, techniciens, groupes ou minorités d'opinion, ethniques ou religieux, entreprises, collectivités, décideurs, leaders politiques, économiques, religieux, académiques, militaires (Claverie et al., 2021, Bernal et al., 2020)… "N'importe quel utilisateur des technologies de l'information modernes est une cible potentielle" (du Cluzel, 2020). Il s'appuie sur les outils des NBIC (Nanotechnologies, Biotechnologies, technologies de l'Information et sciences Cognitives), tels que les outils numériques et réseaux sociaux, des substances chimiques, les illusions, la saturation de l'attention (Claverie et al., 2021), ou les biais cognitifs exploitables des cibles (Pinard Legry, 2022). Les objectifs du *cognitive warfare* peuvent être de conquérir un territoire, perturber des services publics, opérer un changement de gouvernement, influencer des élections, ébranler la confiance, inhiber l'esprit critique (du Cluzel, 2020), ou encore déstabiliser et influencer une population-cible (Bernal et al., 2020) par radicalisation de l'opinion, décrédibilisation des instances dirigeantes, déclenchement ou inhibition d'actions, etc. Ces actions sont difficiles à détecter, les cibles comme les relais n'étant pas conscients d'en être victimes.

2.2. Distinction par rapport à d'autres termes proches

Il existe d'autres concepts proches du *cognitive warfare*. Nous proposons une clarification terminologique pour mieux organiser et définir les termes connexes.

Information Warfare, ou Information Operations, ou renseignement :

L'OTAN[20] décrit la guerre informationnelle comme "une opération conduite dans le but de gagner un avantage informationnel sur l'opposant". Elle est centrée sur l'information, sa manipulation, ses flux, la manière dont on la protège ou la vole, et dont on s'en sert. Du Cluzel (2020) rappelle que le *cognitive warfare*, au contraire, "joue sur notre cognition, sur la manière dont notre cerveau traite l'information et la transforme en connaissance". Bernal et al. (2020) soutiennent qu'avec le *cognitive warfare*, il s'agit plutôt de "se battre pour contrôler ou altérer la manière dont les gens réagissent à l'information". De son côté, le renseignement est un processus de construction des connaissances (Bulinge, 2010). Contrairement à la guerre informationnelle, la guerre cognitive n'est pas centrée sur les informations tactiques du champ de bataille, mais agit également sur l'information destinée au grand public (Bernal et al., 2020).

PsyOps, ou Psychological Operations :

D'après Bernal et al. (2020), les opérations psychologiques menées par les États-Unis[21] mettent en œuvre des produits informationnels qui sont : soit identifiables comme officiellement produits par les USA (produits blancs), soit dont la source est ambiguë (produits gris), soit créés pour "sembler provenir d'une source hostile" (produits noirs). Elles ont souvent une visée militaire. Bernal et al. rappellent que le cognitive warfare travaille surtout avec des produits gris, qui peuvent être niés, et qu'il "tend à viser les infrastructures sociales civiles et les gouvernements".

Propagande :

La propagande est la "transmission de communications, informations et messages [...] dans le but de causer des changements dans la conscience ou le subconscient de la population-cible, afin de changer les attitudes et comportements" (Bobric, 2021). Le *cognitive warfare* est plus subtil que la propagande. Il permet d'influencer ses cibles sans qu'elles puissent s'en apercevoir, et de se servir de ces mêmes cibles comme des armes pour en atteindre d'autres. D'après du Cluzel (2020), avec le

[20] https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/5/pdf/2005-deepportal4-information-warfare.pdf

[21] À ne pas confondre avec les opérations psychologiques françaises, anciennement appelées "Opérations Militaires d'Influence"

cognitive warfare, “tout le monde participe au traitement de l’information et à la formation de connaissances”. L’auteur affirme que le *cognitive warfare* “s’appuie sur les techniques de désinformation et de propagande” : ils peuvent donc être des outils du *cognitive warfare*.

Cyber Warfare :

Bernal et al. (2020) définissent le cyber warfare comme “l'utilisation de cyberattaques dans le but de nuire aux actifs d'une nation”. Dans nos sociétés connectées, avec notamment l’internet des objets, de nombreuses fonctions sont contrôlées numériquement : “équipement de construction, institutions financières, infrastructures civiles, installations militaires”… Ainsi, les cyberattaques peuvent causer “de la perte de temps et de données, mais aussi des dommages physiques”. La guerre informatique relève du domaine technique, et l'effet cognitif est une conséquence, alors que pour le *cognitive warfare*, il est le but de l’action (Claverie et al., 2021).

Cyberpsychologie :

D’après Claverie et Kowalczuk (2021), la cyberpsychologie est “l’étude des phénomènes mentaux en relations avec les cyber-systèmes et les contextes cybernétiques”. Il s’agit donc d’un champ de recherche qui pourrait produire des connaissances exploitables comme des armes pour faire du *cognitive warfare*, ou au contraire imaginer des moyens de s’en protéger.

Military Brain Science :

D’après Jin, Hou et Wang (2018), “la Military Brain Science (MBS) est une science innovante de pointe [...] basée sur les théories et les technologies de la médecine [...], la biologie, la physique, l’informatique, les sciences militaires et de nombreuses autres disciplines”. Elle a pour but de surveiller, protéger, lutter contre, réparer, améliorer le cerveau. Ce sont des applications et outils qui peuvent être utilisés pour le *cognitive warfare*, mais restent centrés sur le domaine militaire.

3. ENJEUX POUR L’ERGONOMIE

La problématique du *cognitive warfare* pose des questions en ce qui concerne les systèmes humain-machine. En effet, avec l’automatisation de ces systèmes, le contrôle humain devient moins direct et les attaques sur ces outils en sont d’autant plus difficiles à détecter. L’opérateur devient de plus en plus superviseur et non acteur de la tâche (hors de la boucle : Endsley & Kiris, 1995). L’effet du *cognitive warfare* pourrait être différent en fonction du niveau de contrôle visé (Hoc & Amalberti, 1994). Cela est d’autant plus vrai pour les systèmes d’automatisation de l’information, qui sont parmi les cibles évidentes du *cognitive warfare* et dont les conséquences sont pourtant moins étudiées (Avril et al., 2020). Ainsi, la robustesse des outils d’automatisation à de potentielles attaques de *cognitive warfare* devrait être pensée et évaluée dès la conception de ces systèmes (Brangier & Robert, 2014). Cette capacité de résilience constitue un champ à développer. Il en est de même de l’étude de nouveaux outils et usages liés au *cognitive warfare*, qui semble être également un point important d’amélioration de notre résistance à ses attaques dans des domaines variés. Ces sujets complexes doivent être traités de façon inter, voire transdisciplinaire, car ils relient, entre autres, sciences de l’ingénieur, ergonomie, psychologie cognitive, ainsi que les domaines civil et de défense.

Ainsi, nous prévoyons d’étudier l’adaptation d’outils d’aide à la prise de décision, en se basant sur des signaux faibles pour la détection de tentatives d’influence (Desclaux et al., 2019).

4. LIMITES ET CRITIQUES DU COGNITIVE WARFARE

Certaines actions de déstabilisation ou d’influence peuvent être détectées et contrées : par exemple, une entreprise qui mettrait en place une stratégie de *cognitive warfar*e envers ses concurrents ou ses clients pourrait être dénoncée par une fuite de données ou un lanceur d’alerte, et cette stratégie se retournerait alors contre elle en dégradant son image publique.

Le *cognitive warfare* peut également faire l'objet de certaines critiques éthiques : il s'agit d'influencer la manière de penser et la prise de décision d'une personne ou d'un groupe de personnes à leur insu. Dans cette dimension, il peut être comparé aux nudges, ces "coups de coude" qui poussent l'utilisateur d'un système ou d'un outil à avoir un comportement optimal : il s'agit également d'un outil d'influence, mais c'est son usage qui détermine ses caractéristiques éthiques. En effet, si ce nudge consiste à pousser un consommateur à acheter plus ou plus cher, il sera jugé plus négativement ; mais s'il le pousse à avoir un comportement plus respectueux, comme avec l'exemple de la pastille en forme de mouche dans les toilettes pour inciter à "mieux viser", il sera jugé plus positivement. Il en va de même pour le *cognitive warfare*, il importe d'en avoir un usage raisonnable et justifiable.

5. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ÉTHIQUES

Recherche soutenue financièrement par le Ministère des Armées – Agence de l'innovation de défense (AID).

6. BIBLIOGRAPHIE

Avril, E., Navarro, J., Wioland, L., & Cegarra, J. (2020). *Le phénomène de contentement : Comparaison entre un automate de l'action et un automate de l'information.* ÉPIQUE'2019.

Backes, O., Swab, A. (2019). *Cognitive Warfare—The Russian Threat to Election Integrity in the Baltic States*. Doctoral dissertation, Harvard University.

Bernal, A., Carter, C., Singh, I., Cao, K., Madreperla, O. (2020). *Cognitive Warfare: An Attack on Truth and Thought.* NATO and Johns Hopkins University: Baltimore MD, USA.

Bobric, G.-D. (2021). The Overton Window : A Tool for Information Warfare. Dans J. Lopez, K. Perumalla et A. Siraj, *ICCWS 2021 16th International Conference on Cyber Warfare and Security* (p. 20-27).

Brangier, É., Robert, J.-M. (2014). L'ergonomie prospective : Fondements et enjeux. *Le travail humain, 77*(1), 1-20. https://doi.org/10.3917/th.771.0001

Bulinge, F. (2010). Renseignement militaire : une approche épistémologique. *Revue internationale d'intelligence économique*, 2, 209-232. https://www.cairn.info/revue--2010-2-page-209.htm

Claverie, B., Kowalczuk, B. (2021). Chapitre 9 – Cyberpsychologie. Dans B. Claverie, B. Prébot et F. du Cluzel (dir.), *La Guerre Cognitique* (p. 9.1-9.5). CSO

Claverie, B., Prébot, B., du Cluzel, F. (2021). Cognitive Warfare : La guerre cognitique. Dans B. Claverie, B. Prébot et F. du Cluzel (dir.), *La Guerre Cognitique* (p. 1). CSO

Desclaux, G., Marion, D., Claverie, B. (2019). Reading the mind of the enemy» through an augmented multi-domain Commander's Critical Information Requirements (CCIR) process. Dans *Proceedings of the 24th International Command and Control Research and Technology Symposium*.

Du Cluzel, F. (2020). *Cognitive Warfare.* Innovation Hub.

Endsley, M. R., Kiris, E. O. (1995). The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human Factors, 37*(2), 381-394. https://doi.org/10.1518/001872095779064555

Harbulot, C. (2004). De la légitimité de la guerre cognitive. *Revue internationale et stratégique, 56*(4), 63-67.

Hoc, J.-M., Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie française, 39*(2), 177-192.

Jin, H., Hou, L.-J., & Wang, Z.-G. (2018). Military Brain Science – How to influence future wars. *Chinese Journal of Traumatology*, 21(5), 277-280. https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2018.01.006

Montocchio, P. (2021). Avant-propos par le directeur adjoint du Collaboration Support Office (CSO) STO. Dans B. Claverie, B. Prébot et F. du Cluzel (dir.), *La Guerre Cognitique* (p. vii-viii). CSO

Orinx, K., Struye de Swielande, T. (2021). Chapitre 8 – La guerre cognitive – Pourquoi l'Occident pourrait perdre face à la Chine ? Dans B. Claverie, B. Prébot et F. du Cluzel (dir.), *La Guerre Cognitique* (p. 8.1-8.7). CSO

Pinard Legry, O. (2022). Neurosciences et sciences cognitives : Comment se préparer à la guerre des cerveaux ? *Revue Défense Nationale, N° Hors-série*(HS3), 58-76.

Prier, J. (2020). Commanding the trend : Social media as information warfare. Dans *Information Warfare in the Age of Cyber Conflict* (p. 88-113). Routledge.

CC : *Quels outils pour supporter la coopération dans les futurs systèmes de combat aériens ?*

Vincent Tardan
Centre d'Expertise Aérienne Militaire (CEAM), 40000, Mont-de-Marsan
vincent.tardan@intradef.gouv.fr
Yurick Curtin
Centre d'Expertise Aérienne Militaire (CEAM), 40000, Mont-de-Marsan
yurick.curtin@intradef.gouv.fr
Julien Donnot
Centre d'Expertise Aérienne Militaire (CEAM), 40000, Mont-de-Marsan
julien.donnot@intradef.gouv.fr
Jérôme Ranc
Centre d'Expertise Aérienne Militaire (CEAM), 40000, Mont-de-Marsan
jerome.ranc@intradef.gouv.fr

RÉSUMÉ

Le développement de systèmes de combat aérien collaboratifs s'accompagne de préoccupations concernant la place des humains compris dans ces systèmes qui doivent être prises en compte en amont dans les programmes de conception. La capitalisation de connaissances produites par l'étude de l'utilisation des outils de coopération actuels nous permet de mieux comprendre les enjeux liés à la conception des futurs outils. C'est dans cette démarche que nous nous positionnons en développant des méthodes d'analyse visant à prendre en compte la dimension cognitive des activités coopératives afin d'alimenter la conception des futurs cockpits d'avions de combat. Le travail présenté dans cette communication vise à investiguer dans quelle mesure les méthodes issues de l'analyse cognitive du travail (CWA) permettent de répondre à ces enjeux.

MOTS-CLÉS

Coopération, cognition distribuée, conscience de la situation, avion de chasse, système de combat aérien

1. INTRODUCTION

Les enjeux opérationnels et technologiques identifiés par les états-majors occidentaux pour conserver la supériorité militaire dans les conflits futurs s'articulent autour de la notion de guerre collaborative (Le Gleut & Conway-Mouret, 2019). L'idée directrice consiste à penser que le développement de la capacité à faire agir ensemble et de façon flexible de nombreux effecteurs compris dans un système de combat permettra d'optimiser les boucles de décision en termes de qualité et de temporalité, et également d'augmenter les possibilités d'action par une allocation adaptative des ressources. Dans le domaine aérien, cet élargissement du champ des possibles est envisagé non seulement dans les activités de planification au sol avant les missions, mais également de façon dynamique en vol ce qui fournirait un avantage majeur concernant la maîtrise du temps.

Le développement de telles capacités s'articule autour d'évolutions technologiques ayant notamment pour but d'améliorer la connectivité entre les effecteurs, mais également par l'utilisation de nouvelles technologies d'aide à la décision qui impliquent de penser le plus tôt possible la façon dont les fonctions et les tâches seront distribuées entre les humains et les machines (Hoc & Chauvin, 2011). La prise en compte du fonctionnement cognitif des humains compris dans ces systèmes sociotechniques complexes revêt une importance capitale pour concevoir des outils adaptés aux

enjeux opérationnels précédemment cités. Nous pensons que cela nécessite un changement dans la façon de concevoir. Là où jusqu'à présent les programmes d'armement se sont focalisés sur la conception d'un vecteur et de ses capteurs, il nous semble crucial d'adopter une approche plus globale dans laquelle la conception serait orientée par les missions que l'on veut faire réaliser à un vecteur intégré dans un système de combat. Les outils permettant de décider et de coopérer conditionneront en grande partie la capacité d'action de ce système de systèmes.

Le projet de recherche *ASCOA* vise à répondre à cet objectif en développant une méthode d'analyse de la coopération dans les opérations aériennes. Cette méthode, qui s'appuie sur les cadres théoriques de la coopération (Hoc, 2001), de la cognition distribuée (Rasmussen & al., 1994) et de la conscience collective de la situation (Millot, 2015), a pour ambition de produire des recommandations concernant la conception des interfaces et des assistances des futurs avions de chasse.

Le travail présenté dans ce papier s'inscrit dans cette démarche en se focalisant sur des dispositifs d'aide à la décision développés dans le cadre de la rénovation du cockpit des M2000D. Depuis 2015, l'armée de l'air et de l'espace, et plus particulièrement le Centre d'Expertise Aérienne Militaire (CEAM), conçoit et met en œuvre des compléments au Système de Navigation et d'Attaque (cSNA) avec des boucles de conception courtes et maîtrisées de bout en bout en interne. Ces cSNA intègrent dans l'avion des fonctionnalités qui offrent de nouvelles potentialités concernant la coopération entre pilote et NOSA (navigateur officier systèmes d'armes) d'une part, et entre avions d'autre part. L'objectif consiste à saisir les propriétés cognitives et comportementales du travail collaboratif des utilisateurs de ces cSNA afin de les valoriser pour la conception des futurs dispositifs. Outre le fait d'offrir une base concrète d'analyse de la coopération médiée par des outils partagés d'aide à la décision, l'activité des équipages de M2000D RMV présente également l'avantage de comporter des phases de planification en vol lors de missions d'assaut conventionnel ou d'appui aérien. Or, comme évoqué précédemment, le développement de la capacité à coopérer dans la planification au cours de la mission est un enjeu majeur dans les futures opérations militaires. Cela permettra de déléguer une partie de la conduite de la mission aux équipages en vol afin de conserver la capacité d'agir en cas d'impossibilité de communiquer avec le commandement (en zone ennemie par exemple).

2. CADRE METHODOLOGIQUE

2.1. Description du cas d'étude et des outils cSNA

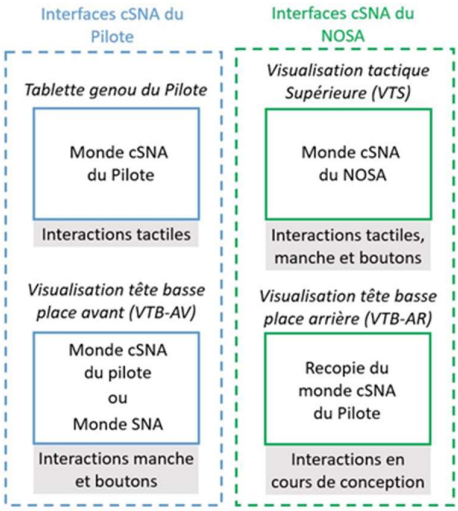


Figure 1 : Représentation schématique des interfaces cSNA du pilote et du NOSA.

L'analyse de cas porte sur une mission d'assaut conventionnel menée par un M2000D RMV. Cette mission consiste à pénétrer en zone ennemie afin d'attaquer des points d'intérêt au sol tout en évitant les dispositifs de défense aérienne. Le choix d'une mission à un seul avion permet d'étudier les capacités de planification en vol dont l'équipage dispose avec les cSNA, et cette mission en particulier comporte une phase de re-planification en vol du fait d'une mauvaise météo empêchant de suivre le plan initial.

La Figure 1 offre une représentation schématique de ces outils cSNA dans le cockpit. Le pilote dispose de deux interfaces dont l'une est dédiée aux cSNA et l'autre est configurable pour afficher d'autres informations n'appartenant pas au monde cSNA (caméras, radar, etc.). Le NOSA dispose également d'une interface dédiée aux cSNA et une autre offrant une recopie du monde cSNA du pilote.

2.2. Recueil et traitement des données

Les traces de l'activité ont été enregistrées et synchronisées. Cela comprend :

- L'enregistrement des écrans cSNA du pilote et du NOSA ;
- L'enregistrement de la visualisation tête haute de l'avion comprenant l'environnement extérieur frontal et les informations de vol ;
- L'enregistrement vidéo de la cabine pilote et navigateur permettant de visualiser les gestes de l'équipage.

Les verbalisations de l'équipage pendant la phase de re-planification ont été retranscrites. Des entretiens d'auto-confrontation avec l'équipage ont permis de recueillir des informations concernant la nature et l'allocation des tâches, ainsi que des informations relatives à l'utilisation des cSNA.

2.3. Méthode d'analyse

Notre méthode s'inscrit dans une approche cognitive de la coopération (Hoc, 2001). Le but est d'analyser la capacité des outils de travail partagés que sont les cSNA à supporter la coopération et l'élaboration de la conscience de la situation du pilote et du NOSA. La méthode s'appuie sur les outils de modélisation utilisés dans le cadre de l'analyse cognitive du travail (Vicente, 1999 ; Naikar, 2013). Deux types de représentation issus de cette méthodologie ont été utilisés : la hiérarchie d'abstraction issue de l'analyse du domaine de travail (WDA) et la représentation des rôles dans l'allocation de fonctions issue de l'analyse du système organisationnel et des coopérations (SOCA).

L'analyse du domaine de travail (WDA) que nous avons effectué était volontairement restreinte à une situation spécifique de façon à analyser plus finement le lien entre les outils cSNA et leur utilisation pour coopérer. Cette situation a été choisie pour son caractère complexe impliquant la réalisation en parallèle d'activités de coopération dans l'action et dans la planification.

Cette situation a ensuite été analysée sous le prisme des tâches effectuées le pilote et le NOSA et de l'utilisation des outils de travail partagés fournis par les cSNA. Cette analyse s'articule en trois étapes :

- Les tâches et les outils soutenant la réalisation de ces tâches ont été modélisés selon le principe de la hiérarchie d'abstraction, en conservant les trois derniers niveaux : les fonctions liées à l'objectif (les tâches réalisées pour atteindre les objectifs), les processus liés aux objets, les objets physiques.
- L'allocation de fonction selon chaque rôle (pilote et NOSA) a été modélisée dans une représentation de type SOCA appliquée à la hiérarchie d'abstraction (SOCA-AH).
- Les stratégies d'utilisation des outils d'aide à la coopération ont été discutées vis-à-vis des fonctions réalisées conjointement par le pilote et par le NOSA.

3. RESULTATS

La phase d'activité étudiée intervenait suite à une re-planification profonde de la mission en termes de navigation et de priorité des objectifs. Il était alors nécessaire pour l'équipage de préparer l'attaque en prenant en compte d'un nouveau contexte (en terme de navigation, de cap d'attaque, de temporalité, de météo) et ce dans un temps court (environ 2 minutes).

Les fonctions identifiées dans cette phase d'activité sont représentées dans la hiérarchie d'abstraction (Figure 2). Cette représentation permet de visualiser pour chaque fonction les processus liés aux objets qui les sous-tendent (en terme de fonctionnalité) ainsi que les objets physiques sur lesquels ces processus s'appuient. Bien qu'ayant été exhaustif concernant les fonctions mobilisées pendant la phase d'activité étudiée, nous n'avons ici représenté que les objets présents dans les cSNA. Ce choix nous permet de mettre en évidence le fait que la grande majorité des fonctions impliquées dans la phase d'activité étudiée s'appuie sur des informations présentes dans les cSNA (à l'exception de la fonction *mise en œuvre de l'armement*).

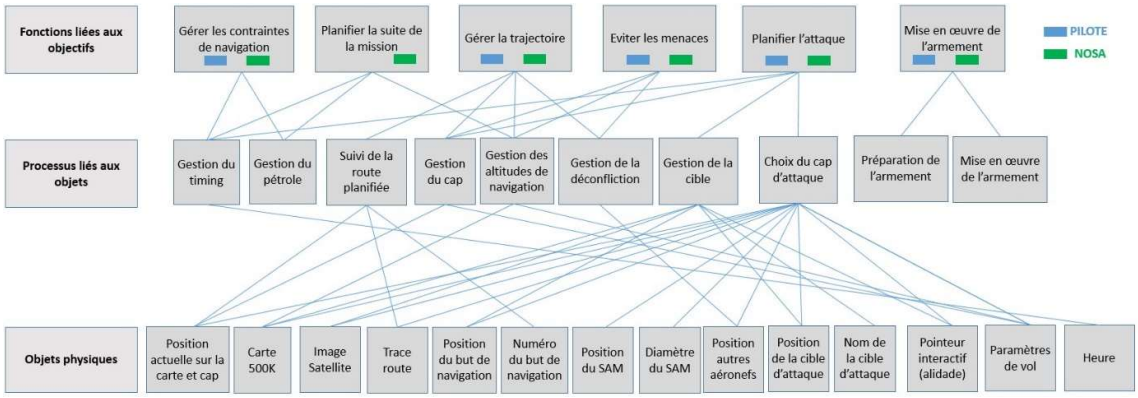


Figure 2 : Hiérarchie d'abstraction pour la situation étudiée

L'analyse SOCA est représentée dans le schéma selon un code couleur (bleu pour le pilote et vert pour le NOSA) permettant de visualiser qui réalise quelle fonction. La plupart des fonctions implique les deux opérateurs et s'appuient sur des informations distribuées à plusieurs endroits sur les interfaces. Ceci confirme l'intérêt pour le pilote et le NOSA de disposer de supports partagés de visualisation afin de faciliter les interférences permettant d'élaborer une représentation partagée de la situation.

Concernant les stratégies d'utilisation des outils cSNA, le pilote a utilisé sa tablette pour garder une représentation globale de la situation, avec un fond cartographique et un niveau d'affichage des informations permettant de naviguer vers l'objectif en évitant les menaces. Sa VTB, partagée avec le NOSA, a quant à elle été dédiée à la visualisation de l'objectif. Ceci leur a permis de partager des informations concernant le nouveau cap d'attaque qui a été choisi après la mise à jour du plan. La hiérarchie d'abstraction montre que le *choix du cap d'attaque* est un processus mettant en jeu le traitement d'un grand nombre d'informations qui peut s'avérer couteux en ressources cognitives s'il n'est pas soutenu par une conception adaptée. Le développement de la capacité pour le NOSA à interagir dans ce monde de travail partagé, notamment au travers de l'utilisation de l'alidade pouvant être utilisée comme pointeur, constitue une piste intéressante pour améliorer le travail équipage dans ce type d'activité. Enfin, le NOSA a utilisé son interface dédiée dans la VTS afin de préparer la suite de la mission. Cela lui a permis d'anticiper les choix qui devaient être faits concernant la navigation et la priorisation des autres objectifs compte tenu du changement de plan.

4. DISCUSSION

Cette étude exploratoire avait pour but d'investiguer la capacité des méthodes de représentation issues de l'analyse cognitive du travail (CWA) à fournir une base d'analyse d'outils partagés d'aide à la décision. Cette démarche nous a permis d'identifier le lien entre les informations partagées et les activités collaboratives qu'elles sous-tendent, ce qui représente un réel atout pour les choix de conception futurs. La modélisation sous forme de hiérarchie d'abstraction de systèmes complexes permet de mener des analyses contextualisées de l'allocation de fonctions et des stratégies d'utilisation des outils partagés d'aide à la décision. La suite de nos travaux aura pour objectif d'investiguer plus finement l'impact des contraintes induites par ces outils d'aide à la décision sur les activités cognitives des équipages, et ce dans des missions d'entraînement réelles et simulées.

5. BIBLIOGRAPHIE

Hoc, J.-M. (2001). *Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations*, International Journal of Human-Computer Studies, 54, 509-540.

Le Gleut, R. & Conway-Mouret, H. (2019) *2040, l'odyssée du SCAF - Le système de combat aérien du futur*, Rapport d'information n° 642 (2019-2020) - 15 juillet 2020 fait au nom de la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées

Millot, P. (2015). *Situation Awareness: Is the glass half empty or half full?* Cognition, Technology & Work, 17, 169-177.

Naikar, N. (2013). Work domain analysis: Concepts, guidelines, and cases. *CRC Press.*

Rasmussen, J., Pejtersen, A. M. & Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York: Wiley

Vicente, K.J. (1999). *Cognitive work analysis: Toward safe, productive, and healthy computer-based work*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Session J6 : Activité Perceptivo-cognitive en situation complexe

3 Communications Longues (= CL) et

2 Communications Courtes (= CC)

CL : *L'impact de la latence en situation de téléconduite d'un train de marchandises*

Emelyne MICHEL & Christopher PAGLIA
IRT Railenium 180 rue Joseph-Louis Lagrange, 59300 Famars
emelyne.michel@railenium.eu

IRT Railenium 180 rue Joseph-Louis Lagrange, 59300 Famars
christopher.paglia@railenium.eu

RÉSUMÉ

Cette communication présente les résultats d'une expérimentation réalisée dans le cadre de la téléconduite de train de marchandises. Pour ce faire, une analyse ergonomique du travail a été menée et elle a montré l'importance des informations perçues par l'opérateur en situation de conduite. Une expérimentation a ensuite été menée afin d'étudier l'influence de différents niveaux de latence des systèmes de télécommunications lors de la transmission des informations soutenant l'activité de gestion de la traction et du freinage d'un train contrôlé à distance. Les participants devaient, sur un simulateur, réaliser différents scénarios les amenant à rencontrer différentes situations classiques de la conduite de train (circulation dans les signaux, gestion de transitions de vitesse) selon différents niveaux de latence. Les résultats montrent que les conducteurs détectent la modification du comportement du train induite par une latence sans pour autant associer ce changement de comportement à une latence. De plus, une modification du comportement des conducteurs est observée en présence d'une latence.

MOTS-CLÉS

Conducteurs de train de marchandises, conduite à distance, téléconduite, latence.

1. CONTEXTE DE RÉALISATION DE L'ÉTUDE

Le projet TC-Rail (TéléConduite sur Rail), initié par la SNCF et ses partenaires Railenium, Thales, Actia Telecom et le CNES, a été mis en place pour étudier la possibilité de conduire un train à distance afin d'optimiser le temps de conduite et d'améliorer la souplesse d'exploitation des trains dans un souci de réduction des coûts.

Dans ce contexte, la téléconduite et plus particulièrement trois cas d'usage ont été étudiés : i) la gestion de la circulation des trains entre le dépôt et le site ferroviaire du client desservi appelé « train des derniers kilomètres », (ii) la gestion des parcours dits techniques (e.x., remonte d'un train d'une gare vers le garage) et (iii) la récupération d'un train autonome (défaillant ou non). Cette étude se donne pour objectif d'évaluer l'impact de la latence induit par les systèmes de télécommunication entre l'opérateur et le système distant (train) (via le système de téléconduite) afin de soutenir la conception des IHMs et du pupitre de téléconduite. Pour répondre à cet objectif, l'impact de quatre niveaux de latence sur l'activité a été évalué lors d'une tâche de conduite dans un environnement de simulation.

2. CADRE THÉORIQUE

Dans le domaine de la conduite autonome, des verrous technologiques subsistent et empêchent le déploiement de ces systèmes au-delà d'un certain niveau d'automatisation (Gadmer et al., 2022). La téléopération (ou téléconduite, ou encore conduite à distance) s'avère être une approche prometteuse

et exploitée dans divers secteurs tels que l'automobile (Neumeier et al., 2019) et la chirurgie (Choi et al., 2018). La téléopération implique une opération à distance rendu possible par un ensemble de techniques permettant de transposer les capacités d'actions (détection, manipulation, etc.) en temps réel à distance grâce à des retours sensoriels captés par des capteurs et transmis au téléopérateur (Garrec et al., 2010). Cet écart physique et fonctionnel entre le téléopérateur et le système téléopéré crée plusieurs contraintes du fait de l'absence d'une conception d'un système de téléopération adapté et centré sur l'humain : les contraintes techniques (la bande passante, le délai de transmission ou latence, les capteurs embarqués) et les contraintes humaines (le manque ou l'altération des informations perceptuelles) (Rybarczyk et al., 2004). Par ailleurs, la téléopération d'un système implique également une évaluation de la sûreté et de la sécurité afin d'identifier et de prévenir des risques d'actes de malveillance et des risques liés aux limites du système.

Les informations transmises lors de la téléopération se font par le biais d'un réseau de télécommunication (Liu et al., 2017). Dans une situation de téléopération optimale, Hosseini et Lienkamp (2016) identifient l'utilisation de réseaux de communication limités comme une des principales limites à la transmission d'informations entre le train et le Site de Conduite à Distance (SCaD). L'utilisation des réseaux de communication est également à l'origine de la latence (Chen et al., 2007 ; Neumeier et al., 2019). En situation de téléopération, la latence se réfère à l'écart temporel entre l'action d'un opérateur et sa prise en compte par le système distant. La latence induite par les réseaux de télécommunication est identifiée comme étant un des défis auquel se heurte la téléopération (Chen et al., 2007) et qu'il est important à considérer pour parvenir à téléopérer des véhicules de manière sûre. Ellis et al. (2004) montrent que même des retards de 10 à 20 ms peuvent être perçus par les opérateurs.

La présence d'une latence en situation de téléopération impact de diverse manière un opérateur. En effet, la latence est non seulement une source de difficultés et de stress pour les opérateurs, mais également à l'origine du mal des transports (Chen et al., 2007), d'une élévation de la charge cognitive (Matheson et al., 2013) et d'un déclin des performances de l'opérateur (Chen et al., 2007). Par ailleurs, plusieurs indicateurs illustrent la modification du comportement des opérateurs lorsqu'ils font face à une latence. Cela s'observe à travers la diminution de la vitesse et de la précision des tâches de téléopération (Chen et al., 2007 ; Luck et al., 2006), et par l'augmentation du temps de réaction et d'exécution d'une tâche (Luck et al., 2006) (e.x., diminution de la vitesse conduite).

Malgré tout, dans certaines conditions, il semble que les opérateurs parviennent à obtenir un bon niveau de performance. Chen et al. (2007) et Neumeier et al. (2019) ont montré respectivement que les latences constantes et inférieures à 170 et 300 ms, permettaient de limiter les effets sur les téléopérateurs. Neumeier et al. (2019) ont mené une étude utilisateur pour identifier l'impact de la latence sur les performances, la charge de travail et l'acceptabilité des opérateurs à l'aide d'un simulateur de conduite multi moniteurs. Les opérateurs ont été soumis à différentes latences constantes et variables au cours de divers scénarios reflétant la conduite réelle (c.-à-d., tâches de parking et de gestion du véhicule). Les résultats ont montré une détérioration des performances de conduite lorsque la latence augmentait face à une situation inadéquate et nécessitant des ajustements rapides (c.-à-d., scénarios complexes). Tandis que ces mêmes latences élevées étaient acceptables dans des scénarios plus lents et simples. Leurs résultats ont donc montré un déclin de la performance en présence d'une latence de 300 ms, soit largement en dessous de la latence maximale de 700 ms à ne pas dépasser et préconisée par Davis et al. (2010) et Kang et al. (2018). Mais puisque Xu et al. (2014) montrent que l'impact de la latence sur le temps d'exécution est fonction du type de tâche, on peut supposer que le seuil de latence acceptable pour la téléopération d'un train dépendra de l'activité du conducteur. Par exemple, Shen et al. (2016) ont évalué la performance de la tâche de téléopération selon la latence de différents niveaux de télécommunications sans fil (WLAN, 4G, 3G) lors de la téléconduite d'un véhicule sur un parcours de slalom. Les résultats ont montré que le parcours de

slalom semblait être possible avec la 3G, puisque les conducteurs ont pu terminer le parcours sans collision et en ne manquant aucun cône matérialisant les slaloms.

Comme vu précédemment, de nombreux travaux ont enquêté sur les effets de la téléopération, mais peu d'entre eux étudient ce concept dans le domaine du ferroviaire. Ainsi, la présente étude se propose de répondre à la question suivante « Comment la latence impact l'activité de gestion de la traction et du freinage dans un contexte de conduite à distance d'un train de marchandises ? ». Pour ce faire, après un état de l'art sur la latence et ses effets (présenté plus haut), une analyse de l'activité de traction et de freinage sera présentée dans la première partie de la section 3. La seconde partie présentera une expérimentation réalisée dans le cadre de ce projet afin de répondre aux questions de recherches auxquelles cette étude se donne pour objectif de répondre :

- Les conducteurs sont-ils capables de détecter la présence d'une latence ?
- Si une latence est détectée, les conducteurs parviennent-ils à adapter leur comportement de conduite pour atténuer ses effets ?
- La performance de conduite varie-t-elle en fonction des différents niveaux de latence ?
- Les latences nominales des technologies permettent-elles de conduire le train à distance ?
- Les conducteurs de trains accepteraient-ils de conduire dans de telles conditions ?

3. MILIEU D'IMPLANTATION ET MÉTHODES

3.1. Analyse Ergonomique du Travail

L'Analyse Ergonomique du Travail (AET) vise à confronter les exigences de la tâche prescrite aux attitudes et aux séquences opérationnelles appelées « activité » (Faverge & Ombredane, 1955) dans le but d'acquérir une compréhension systémique de la situation (c.-à-d. comprendre comment un opérateur atteint un objectif fixé ou les raisons qui l'en empêchent dans un contexte donné). Une analyse de l'activité de conduite de train de marchandises et plus particulièrement de la tâche de gestion de traction/freinage a été réalisée lors d'une précédente étude (Paglia et al., 2021). Sept observations en cabine et des entretiens ont été effectués. Plusieurs facteurs ont été retenus afin d'obtenir un panel varié et représentatif de la population cible : caractéristique des conducteurs (expérience, ancienneté), type d'engin moteur (BB 60000, BB 75000, BB 27000), propriété du train (tonnage tracté, nombre de wagons, type de wagons), type d'activité métier (conduite sur voie principale, conduite de manœuvre).

Lors de la mise en mouvement du train, le conducteur utilise un manipulateur de traction dans le but d'appliquer une certaine force de traction. Dans le cadre de la conduite d'un engin moteur de type BB 60000, l'agent de conduite utilise un manipulateur dit « impulsionnel » l'obligeant à pousser séquentiellement celui-ci afin d'augmenter progressivement l'effort de traction demandé à l'engin moteur. Ultérieurement, l'opérateur vérifie la prise en compte de sa demande et donc la prise de vitesse du train grâce aux informations issues de différents niveaux d'abstraction (e.x., informations perceptuelles, indicateurs de vitesse, etc.). En présence d'une latence, c'est-à-dire lorsqu'un décalage s'observe entre le moment où le conducteur réalise son action sur le pupitre et le moment où l'engin moteur transmet la demande, le conducteur se doit de mobiliser une forte anticipation. Celle-ci se base principalement sur la connaissance de ligne (Paglia et al., 2021).

En ce qui concerne le freinage d'un train, le conducteur peut utiliser deux types de freins : le manipulateur de frein direct agissant uniquement sur les essieux de la locomotive, le manipulateur de frein continu automatique utilisé lors de la conduite de trains en ligne. La gestion du freinage d'un train de marchandises est capitale pour assurer la sécurité. Lors d'une immobilisation du train par le biais d'un freinage continu, le conducteur doit agir sur la commande de frein pour créer une dépression de 2 bars dans le réservoir égalisateur (RE) qui se répercutera dans la conduite générale (CG) avant que le train ne soit effectivement freiné. Par ailleurs, le freinage effectif se déroule avec une latence plus ou moins longue en fonction de la longueur du train, provoquant ainsi un délai entre le moment où la

pression décline dans la CG et le moment où le train commence à perdre en vitesse (Paglia et al., 2021). À cela, des ajustements ou le déclenchement d'un nouveau freinage plus fort peuvent être réalisés en fonction des informations perçues par le conducteur. Ces éléments montrent l'importance que revêt l'activité de gestion de traction et de freinage dans la conduite d'un train de marchandises.

3.2. Expérimentation

Cette étude présente l'une des expérimentations menées à la suite de la phase de compréhension de l'activité de conduite de train de marchandises, présentée précédemment. Cette communication présente une étude intra-sujet, lors de laquelle une évaluation de l'impact sur le comportement des conducteurs de quatre latences générées par différents systèmes de télécommunications a été réalisée sur un simulateur de formation à la conduite LITO dans lequel a été implémenté un environnement par la société OKtal.

3.2.1. Participants

Douze conducteurs (six novices et six experts) ($\bar{A}$ = 45.5, SD = 7.99) ayant déjà conduit un train de marchandises (dont deux qui ne conduisaient plus au moment de l'expérimentation) ont pris part à cette étude. L'un d'eux a été exclu à la suite d'une irrégularité lors de l'étude et n'a donc pas été pris en compte lors des analyses. L'ensemble des conducteurs avaient une expérience antérieure avec le simulateur LITO, parmi eux cinq l'utilisaient au moins une fois par mois. Dix des 12 conducteurs avaient une expérience de plus de vingt ans de conduite.

3.2.2. Protocole expérimental

Quatre variables indépendantes ont été croisées dans cette expérience :

- (VI1) Niveau de latence (L – latence de base correspond à la latence nominale du système, LA – latence du réseau SATCOM, LB – latence du réseau « Long Term Evolution », LC – Latence maximale) ;
- (VI2) Niveau d'expérience (conducteurs novices en cours de formation et selon la définition énoncée par la SNCF, conducteurs experts ayant achevé la formation selon la définition donnée par la SNCF) ;
- (VI3) Situations correspondant aux quatre segments d'un trajet de longueur et de caractéristiques de lignes (signaux, gares, PN, agent de voie) équivalentes, par lesquelles passe le train au cours d'un trajet donné (situation 1 sans latence additionnelle, 2, 3, 4) ;
- (VI4) Séquence d'activité (séquence Avertissement - Signal carré, séquence Avertissement – Voie libre, séquence de décélération – Tableau Indicateur de Vitesse).

La signalisation ferroviaire est définie selon un principe d'annonce et d'exécution. Ainsi, chaque signalisation est précédée d'une annonce permettant aux conducteurs de mettre en place les gestes métiers nécessaire à l'obéissance « passive et immédiate ». La séquence Avertissement – Carré fermé (AC) correspond à l'annonce d'un signal d'arrêt le « carré » en présentant un signal à l'avertissement et précède l'arrêt du train au niveau du signal fermé. À sa rencontre, le conducteur doit identifier une zone d'approche du signal (environ 200 en amont), décélérer afin de respecter la Vitesse Sécuritaire d'Approche (VISA). Puis approcher à une vitesse lui permettant de s'arrêter avant le signal d'exécution (signal d'arrêt) s'il reste fermé. La séquence Avertissement – Voie libre (AV) correspond à l'annonce d'un signal d'arrêt qui finit par s'ouvrir et annoncer la « voie libre » pour le train. À sa rencontre, le conducteur suit la procédure adaptée face à ce type de signal (comme présenté ci-dessus) et franchit le signal ouvert indiquant la « voie libre ». La séquence de décélération (Tableau Indicateur de Vitesse, TIV) correspond aux parties de voies ou d'aiguilles nécessitant d'être approchées à des vitesses limitées. L'origine et la fin de ces zones à vitesses limitées peuvent être repérées par des pancartes « Z (zone) » et « R (reprise) », respectivement.

Les actions des conducteurs sur le pupitre de conduite et les IHMs (verbalisations, actions sur les systèmes de traction/freinage, position du manipulateur de traction/freinage), l'évaluation subjective de la latence ainsi que les verbatims (verbalisations et réponses au questionnaire donné lors de l'entretien intermédiaire) ont été recueillis. Les données concernant le comportement du train proviennent de la reconstruction des données enregistrées par le simulateur LITO (% de traction, % de freinage, anticipation du conducteur, vitesse de conduite, etc.). Les variables dépendantes quantitatives permettaient de mesurer la performance de la tâche de conduite du conducteur en fonction des séquences d'activités (AV, AC, TIV) :

- Vitesse de franchissement de l'avertissement (AV, AC) ;
- Vitesse de franchissement du signal à voie libre (AV) ;
- Vitesse à 300 m du signal à voie libre (AV) ; Vitesse à 200 m du signal à voie libre (AV) ; Vitesse à 100 m du signal à voie libre (AV) ;
- Valeur de la première dépression (AV) ;
- Nombre d'action de serrage (AV, AC) ;
- Nombre d'action de desserrage (AV, AC) ;
- Nombre de traction supplémentaire permettant d'arriver au signal concerné (AV, AC) ; Vitesse de franchissement du TIV à deux taux (TIV) ;
- Vitesse de franchissement du « Z » TIV à deux taux (TIV).

Les verbalisations spontanées (enregistrements vidéo et audio) ont également été analysées. Un entretien a été mené à l'issue de chacun des scénarios afin de recueillir la satisfaction, les difficultés et l'efficacité de conduite des participants. Finalement, un entretien post-test a permis de recueillir le retour d'expérience concernant les différents scénarios et les différentes modalités de la latence.

4. PRINCIPAUX RÉSULTATS

Les résultats et les discussions associés sont présentés afin de répondre aux problématiques énoncées plus haut.

4.1. Le conducteur parvient-il à détecter la présence éventuelle d'une latence ?

Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle les participants seraient aptes à détecter la présence d'une potentielle latence, trois paramètres ont été utilisés.

Les verbatims des participants lors de la réalisation de la tâche montrent que quelle que soit la situation, le nombre de participants ayant été en mesure de détecter la latence était relativement similaire (5 détections pour les situations 2 et 4, 6 détections pour la situation 3). Ce résultat suggère que les propriétés seules d'une situation ne semblent pas véhiculer suffisamment d'informations pour que le conducteur puisse détecter la présence d'une potentielle latence. Lors des entretiens post-tests, 41.67 % des participants ont déclaré percevoir une latence lors de la prise en compte de leur action sur le LITO contre plus de 50 % ayant déclaré percevoir une variation du comportement de la traction/du freinage sans savoir qu'ils étaient exposés à une latence de 850 ms. Cet écart pourrait s'expliquer par le fait que parmi les participants détectant une variation du comportement du train, certains n'ont pas été en mesure d'associer cette variation à une latence (d'autres paramètres, tels que le profil de voie, peuvent l'expliquer). Par exemple, le verbatim « J'avais plus de mal à ajuster mon freinage, je pense que ça descendait » laisse penser que la cause perçue pourrait être le profil de voie. Ces résultats suggèrent que dans le cadre d'une téléconduite, une modification du comportement du train induite par une latence, mais n'étant pas comprise comme telle pourrait être associée à des caractéristiques erronées de l'environnement et par conséquent engendrer des comportements

inadaptés. D'autant plus que l'environnement à lui seul ne semble pas être suffisant pour déduire la présence d'un phénomène de latence (quelle que soit la situation, le nombre de détections de latence étant similaire).

Enfin, le classement des différentes latences par les participants en post-test montre qu'ils sont capables de détecter une latence sans pour autant parvenir à ordonner les différents niveaux de cette dernière. En effet, parmi les 11 participants ayant réalisé cette hiérarchisation, huit s'estiment incapables de les classer, deux comprennent que la situation 1 est dépourvue de latence, tandis qu'un seul participant a pu ordonner les niveaux de latence.

4.2. Le téléconducteur adapte-t-il son comportement de conduite en présence d'une latence ?

Le comportement des conducteurs a été globalement comparé à travers les séquences « Avertissement – Voie libre » et « Avertissement – Carré fermé » afin d'observer la présence d'éventuels ajustements du comportement des conducteurs (dont un des 12 participants a été exclus à la suite d'un problème technique du LITO). Les données observées ne montrent pas de différence dans le comportement des conducteurs en présence ou en l'absence de latence, hormis pour la distance entre le premier coup de frein et le signal d'Avertissement – Voie libre. D'une part, en l'absence de latence les conducteurs expérimentés (ayant freiné plus tard que les autres conducteurs) ont donné le premier coup de frein à 108 m (SD = 49) (et à 174 m, SD = 49, pour les autres conducteurs) comparée à la situation en présence d'une latence lors duquel les conducteurs ont en moyenne donné le premier coup de frein à 267 m (SD = 120). La distance entre le premier coup de frein et le signal a été en moyenne plus précoce en présence d'une latence comparée à la cette distance dans une situation sans latence. D'autre part, quel que soit le niveau de latence, les conducteurs expérimentés ont systématiquement donné le premier coup de frein plus tôt (e.x., pour une latence de 400 ms : freinage à 309 m) que les conducteurs novices (e.x., pour une latence de 400 ms : freinage à 195 m). Par ailleurs, dans l'ensemble les conducteurs ont indiqué avoir adopté une conduite plus sécuritaire lors de l'expérimentation comparée à leur conduite habituelle. Certains indiquent d'ailleurs avoir légèrement modifié leurs actions sur le frein automatique afin d'affiner la valeur de dépression du « Réservoir Egalisateur, RE » « J'ai mis des petites pichenettes pour avoir la bonne valeur » ce qu'ils ne font pas en situation réelle puisque cela pourrait provoquer la casse des attelages.

4.3. Le téléconducteur adapte-t-il sa conduite en fonction de la modalité de la latence ?

Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle la performance évoluerait en fonction des niveaux de latence, les indicateurs de performances ont été comparés en fonction de ces différents niveaux. Dans les situations 2, 3 et 4, les conducteurs augmentent la vitesse du train à l'approche d'un Avertissement ou d'un signal « Voie libre » à mesure que la latence augmente. Par exemple, dans la situation 2 face à une séquence Avertissement - Voie libre, les conducteurs adoptaient une vitesse plus élevée en présence d'une latence maximale de 850 ms ($\overline{v}$ = 73 km/h) comparée à la vitesse adoptée en présence d'une latence de 400 ms ($\overline{v}$ = 68.5 km/h). Ce constat s'observe également dans les autres situations. Cette augmentation globale de la vitesse face à une latence plus élevée pourrait s'expliquer par le fait que les participants ont continué d'augmenter leur vitesse jusqu'à ce qu'ils observent effectivement les résultats de leur action. Cette interprétation corrobore les autres résultats. En effet, dans la situation 2 lors d'une séquence Avertissement - Voie Libre, les résultats montrent que les participants ont moins serré en présence d'une latence élevée (nombre de serrages = 3.75) comparée à une latence plus faible de 400 ms (nombre de serrages = 4). Dans le cas d'une séquence Avertissement - Carré fermé, les participants ont en moyenne plus diminué leur vitesse lorsque la latence était de 850 ms ($\overline{v}$ = 45.5 km/h) comparée à une latence de 400 ms ($\overline{v}$ = 46.25 km/h) comme l'indiquent les résultats de la situation 2. Ce constat est le même dans la situation 4.

Par ailleurs, les conducteurs ont tous maintenu une conduite sécuritaire (respect de la VISA, des signaux, etc.) quel que soit le niveau de latence auquel ils étaient soumis. Ils n'ont d'ailleurs pas

considéré avoir un écart de performance dans la tâche de conduite quel que soit le niveau de latence (lorsqu'ils ont répondu à la question « Comment évaluez-vous votre conduite ? »). Les résultats suggèrent donc que les conducteurs se sont adaptés aux différents niveaux de latence auxquels ils étaient soumis afin d'ajuster leur activité et de maintenir le niveau de performance attendu en conduite traditionnelle.

4.4. La latence nominale des technologies permettent-elles aux conducteurs de téléconduire leur train ?

L'ensemble des participants répondent à l'affirmative lorsqu'on leur demande s'ils étaient capables de téléconduire avec les différents niveaux de latence de l'expérimentation. D'ailleurs, certains ajoutent qu'ils sont déjà confrontés à des temps de réponse différents en fonction du matériel opéré.

4.5. Les conducteurs accepteraient-ils de conduire dans de telles conditions ?

En réponse à cette question de recherche, plusieurs difficultés ont été relevées par les participants de l'étude et pourraient être intéressantes à étudier lors de la conception d'un système de téléconduite : la fatigue visuelle induit par la médiation de la scène visuelle par un écran ; l'aspect peu représentatif de la réalité du comportement du train ; le manque de ressenti sensoriel notamment lors d'un freinage ; la monotonie perçue de la situation ; l'environnement sonore perturbant (ventilation, bruit de moteur peu cohérent, etc.) ; la difficulté dans l'appréciation des distances ; la visualisation tardive des signaux.

5. DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Peu d'études à notre connaissance ont pour le moment enquêté sur la téléconduite d'un train et les effets de la latence. Après une analyse de l'activité de conduite d'un train de Fret, une étude a été réalisée sur un simulateur afin d'évaluer l'effet de la latence sur des conducteurs en situation de téléconduite. Les résultats des analyses quantitatives et qualitatives confirment l'impact de la latence sur le comportement des conducteurs démontrés dans des travaux antérieurs (Chen et al., 2007 ; Luck et al., 2006). Les conducteurs ont adopté des comportements différents en présence d'une latence, et ce, d'autant plus si celle-ci était élevée. Ces modifications de comportements peuvent suggérer une tentative de la part des opérateurs de s'adapter à la situation. De plus, les conducteurs semblent être parvenus à détecter la présence de latences sans pour autant réussir à les classer ou à les associer aux changements de comportement du train. Ces résultats suggèrent que les seules propriétés d'un environnement ne suffisent pas à transmettre suffisamment d'informations au conducteur afin qu'il détecte la présence d'une latence. Aussi, les interprétations erronées des conducteurs face à cette latence mettent en exergue le risque pour les conducteurs d'adopter des comportements inadaptés.

Dans cette étude, seules les commandes étaient soumises à différents niveaux de latence. En effet, le retour de l'environnement extérieur n'était pas soumis à des latences contrairement à une situation de téléconduite réelle, ce qui permettait au conducteur de percevoir la position réelle du train sous couvert de la latence de transmission du flux vidéo. Cette limite pourrait donc accentuer les résultats concernant la capacité des conducteurs à téléconduire leur train en présence d'une éventuelle latence.

L'objet de cette étude était d'étudier les effets de différents niveaux constants de latences induits par les réseaux de télécommunications. L'étude de la variabilité de la latence sur la performance des conducteurs de train pourrait être un sujet à approfondir dans les travaux futurs. Luck et al. (2006) ont montré que ce n'était pas tant la seule présence d'une latence qui complexifiait la téléopération, mais également sa variabilité comparée à une latence constante. Les résultats de Davis et al. (2010) et Liu et al. (2017) corroborent l'importance de maintenir une latence constante

pour atténuer ses effets délétères sur la performance. En effet, Liu et al. (2017) montrent que les erreurs survenant lors de la téléopération d'un véhicule peuvent être réduites en ajoutant une latence dans la transmission des données, et ce, en passant d'une latence variable moyenne de 97 ms à une latence constante moyenne de 358 ms. C'est d'ailleurs l'une des recommandations proposées à l'issue du projet, ajouter une latence supplémentaire afin de maintenir une latence constante. Enfin, l'utilisation d'un réseau de communication plus performant (5G voir 6G) pourrait également être un moyen de mitigation à la latence du réseau. Cependant, la couverture du réseau dans les zones par lesquelles les trains de marchandises téléconduit seraient susceptibles de circuler ne le permettrait pas. En effet, le projet TC-Rail avait pour ambition de tester la téléconduite d'un train de marchandises par le biais de l'utilisation de réseau privé 3G.

6. BIBLIOGRAPHIE

Chen, J. Y., Haas, E. C., & Barnes, M. J. (2007). Human performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, *37*(6), 1231-1245.

Choi, P. J., Oskouian, R. J., & Tubbs, R. S. (2018). Telesurgery : Past, present, and future. *Cureus*, *10*(5).

Davis, J., Smyth, C., & McDowell, K. (2010). The Effects of Time Lag on Driving Performance and a Possible Mitigation. *IEEE Transactions on Robotics*, *26*(3), 590-593. https://doi.org/10.1109/TRO.2010.2046695

Ellis, S. R., Mania, K., Adelstein, B. D., & Hill, M. I. (2004). Generalizeability of latency detection in a variety of virtual environments. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *48*(23), 2632-2636.

Faverge, J.-M., & Ombredane, A. (1955). *L'Analyse du travail : Facteur d'économie humaine et de productivité*. FeniXX.

Gadmer, Q., Richard, P., Popieul, J.-C., & Sentouh, C. (2022). Railway Automation : A framework for authority transfers in a remote environment. *IFAC-PapersOnLine*, *55*(29), 85-90.

Garrec, P., Riwan, A., David, O., & Measson, Y. (2010). *Téléopération–Principes et technologies*.

Hosseini, A., & Lienkamp, M. (2016). Enhancing telepresence during the teleoperation of road vehicles using HMD-based mixed reality. *2016 IEEE Intelligent vehicles symposium (IV)*, 1366-1373.

Kang, L., Zhao, W., Qi, B., & Banerjee, S. (2018). Augmenting self-driving with remote control : Challenges and directions. *Proceedings of the 19th international workshop on mobile computing systems & applications*, 19-24.

Liu, R., Kwak, D., Devarakonda, S., Bekris, K., & Iftode, L. (2017). Investigating Remote Driving over the LTE Network. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 264-269. https://doi.org/10.1145/3122986.3123008

Luck, J. P., McDermott, P. L., Allender, L., & Russell, D. C. (2006). An investigation of real world control of robotic assets under communication latency. *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction*, 202-209.

Matheson, A., Donmez, B., Rehmatullah, F., Jasiobedzki, P., Ng, H.-K., Panwar, V., & Li, M. (2013). The effects of predictive displays on performance in driving tasks with multi-second latency : Aiding tele-operation of lunar rovers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *57*(1), 21-25.

Neumeier, S., Wintersberger, P., Frison, A.-K., Becher, A., Facchi, C., & Riener, A. (2019). Teleoperation : The Holy Grail to Solve Problems of Automated Driving? Sure, but Latency Matters. *Proceedings of the*

11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 186-197. https://doi.org/10.1145/3342197.3344534

Paglia, C., Anceaux, F., Mouchel, M., & Richard, P. (2021). Téléconduire un train de marchandise : Prise en compte des impacts de l'éloignement train/pupitre sur la future activité pour la conception du système. *Onzième colloque de Psychologie Ergonomique EPIQUE 2021*, 138.

Rybarczyk, Y., Mestre, D., Hoppenot, P., & Colle, E. (2004). Implémentation de mécanismes d'anticipation visuo-motrice en téléopération. *Le travail humain*, *67*(3), 209. https://doi.org/10.3917/th.673.0209

Shen, X., Chong, Z. J., Pendleton, S., James Fu, G. M., Qin, B., Frazzoli, E., & Ang, M. H. (2016). Teleoperation of on-road vehicles via immersive telepresence using off-the-shelf components. In *Intelligent Autonomous Systems 13* (p. 1419-1433). Springer.

Xu, S., Perez, M., Yang, K., Perrenot, C., Felblinger, J., & Hubert, J. (2014). Determination of the latency effects on surgical performance and the acceptable latency levels in telesurgery using the dV-Trainer® simulator. *Surgical endoscopy*, *28*(9), 2569-2576.

CL : *Évaluation du coût cognitif lors de la réalisation d'une tâche aéronautique*

Jean-Christophe Hurault[1], Grégory Froger[1], Colin Blättler[1], Anne-Lise Marchand[1] et Nathalie Bonnardel[2]

[1]Centre de Recherche de l'École de l'Air et de l'Espace, École de l'air et de l'espace, F-13660 Salon-de-Provence, France – jean-christophe.hurault@ecole-air.fr – gregory.froger@ecole-air.fr – colin.blattler@ecole-air.fr – anne-lise.marchand@ecole-air.fr

[2]PSYCLE & InCIAM, Aix-Marseille Université, 13100 Aix-en-Provence, France – nathalie.bonnardel@univ-amu.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de développer une méthode d'évaluation du coût cognitif de tâches aéronautiques pour optimiser la formation des pilotes. **La méthode** a consisté, pour 28 participants novices en aviation, à réaliser deux tâches aéronautiques (maintien en mémoire des éléments d'un plan de vol et recherche visuelle de potentielle collision), soit en multitâche (G1), soit en simple tâche (G2). Le coût cognitif de la tâche de recherche de collision a été mesuré par son impact sur l'empan complexe de la mémoire de travail relative à la tâche de maintien du plan de vol, et celui de la tâche de maintien du plan de vol par le coût de permutation (switching) provoqué sur la tâche de recherche de collision. **Les résultats** montrent que les deux mesures sont efficaces, mais que contrairement à ce qui était attendu, un coût de permutation était présent même en simple tâche (G2). Ces derniers résultats peuvent être causés par un temps de pause suffisant pour désactiver les règles de la tâche. **En conclusion**, cette méthode semble être un moyen efficace d'évaluer le coût cognitif.

MOTS-CLÉS

Coût cognitif ; Empan complexe ; Permutation (switching) ; Aéronautique ; Mesure objective

1. INTRODUCTION

L'aéronautique est un système dynamique et complexe dans lequel les pilotes sont confrontés dès le début de leur formation à des tâches discrètes et synchrones. Par exemple, ils doivent maintenir en mémoire de travail les informations relatives au plan de vol tout en effectuant une recherche visuelle de potentielle collision (oiseaux, montagne, autres avions, etc.). Cependant, la gestion de multiples tâches synchrones a un coût cognitif (Pashler, 1994 ; Wickens, 2002) qui peut être préjudiciable à la sécurité aérienne et à l'acquisition de compétences. La mémoire de travail ayant une capacité limitée (Baddeley, 1996, 2000 ; Cowan, 1999), lorsqu'elle est fortement sollicitée (1) l'apprentissage est moins efficace (Sweller, 1994) et (2) les ressources cognitives peuvent être insuffisantes pour percevoir les éventuels dangers (p. ex., risque de cécité d'inattention ; Kreitz et al., 2016). Par conséquent, il est crucial d'adapter la formation des pilotes en tenant compte de leurs capacités cognitives, celles-ci variant en fonction d'éléments contextuels, tels que la fatigue, le niveau d'expérience, la difficulté de la tâche ou encore le stress.

La présente étude fait partie d'un projet visant à développer une méthode d'optimisation de ce type d'enseignement. Plus précisément, nous testons une méthode d'évaluation combinant deux nouvelles mesures du coût cognitif de tâches aéronautiques. Les capacités cognitives peuvent être évaluées au travers de la mesure du coût cognitif de réalisation d'une tâche. Il existe différentes approches pour évaluer le coût cognitif, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients (Hancock &

Matthews, 2019). Les méthodes subjectives, telles que les échelles d'évaluation (p. ex., NASA TLX ; Hart & Staveland, 1988), fournissent des informations directes sur la perception du coût cognitif par les individus, mais elles peuvent être influencées par différents biais (p. ex., compréhension sémantique, nombre d'items, désirabilité sociale, etc.). Les méthodes basées sur la performance, qui observent les comportements ou les performances cognitives, peuvent être influencées par d'autres facteurs comme la motivation. Les méthodes physiologiques offrent des mesures indirectes, mais précises (p. ex., nIRS, EEG, etc. ; Dehais et al., 2020) ; cependant, elles nécessitent une forte expertise pour leur interprétation et l'utilisation d'équipements spécialisés entraine des contraintes (p. ex., navigabilité, encombrement, etc.) freinant leur utilisation dans des situations réelles.

L'objectif de cette étude est de mettre à l'épreuve une méthode visant à mesurer de manière objective le coût cognitif dans le cadre de l'apprentissage des tâches de pilotage. Cette méthode permettrait de surmonter les limitations actuelles et pourrait être appliquée de manière plus pratique dans des situations réelles, sans nécessiter l'utilisation de capteurs physiologiques tels que des eye-trackers, des électromyogrammes ou des électrocardiogrammes. Pour cela, deux mesures de performance ont été combinées : une mesure sur la tâche principale et une mesure sur une tâche secondaire. En effet, il est souvent difficile de mesurer la performance de la tâche principale en avion en raison des contraintes telles que la protection des données ou la complexité du système informatique. Il est donc important d'avoir une mesure secondaire facile à utiliser et qui n'interfère pas avec la tâche principale.

En tant que novices, les pilotes en formation sont confrontés à la réalisation de plusieurs tâches discrètes qui seront intégrées en une seule supertâche quand ils seront experts. Selon Sweller (1994), cette structure cognitive de supertâche est décrite sous plusieurs appellations, dont schéma, chunk ou template. L'exécution d'une tâche commence par la préparation, qui peut être décrite comme l'adoption d'une configuration cognitive spécifique à la tâche qui permet de gérer les règles de résolution de la tâche (Rogers & Monsell, 1995). Le processus d'adoption et de maintien d'une configuration cognitive repose sur les fonctions exécutives (Miyake et al., 2000 ; Monsell, 2015), et est modélisé au sein du processeur exécutif central (Baddeley, 2000). Dans une situation multitâche, le coût cognitif est principalement lié à l'impossibilité d'activer simultanément les règles de résolution de deux tâches discrètes (Pashler, 1994 ; Liepelt et al., 2011). Ce coût est présent jusqu'à ce qu'une exposition suffisamment répétée à une situation multitâche bénéficie du mécanisme d'intégration consistant en la création d'une supertâche englobant les règles de résolution de l'ensemble des tâches au sein d'une seule règle. Tant que cette supertâche n'est pas acquise, les situations multitâches provoquent un coût cognitif dont il est proposé ici deux mesures.

La première mesure est liée au coût de permutation d'une tâche vers une autre. La permutation consiste en l'exécution consécutive de deux tâches discrètes. Elle reflète la transition d'une configuration cognitive en vue de réaliser une tâche vers une autre configuration cognitive visant à réaliser une autre tâche (Rogers & Monsell, 1995). Le coût de la permutation se traduit par un temps de réponse à la situation multitâche plus long que dans les situations où il n'y a pas de permutation, mais plutôt la répétition d'une même tâche (voir figure 1).

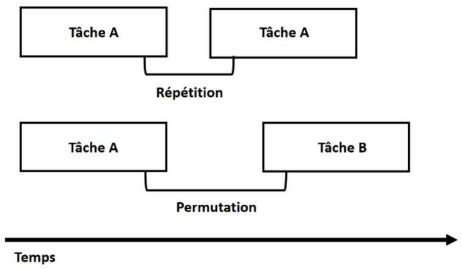


Figure 1 : La répétition (réalisation de la même tâche A) présente un coût cognitif inférieur à la permutation (changement d'une tâche A vers une tâche B). Ce coût est classiquement calculé par le temps de réponse à la tâche.

La seconde mesure est basée sur l'empan complexe de mémoire de travail décrit dans le modèle Time Based Ressources Sharing (TBRS) (Barrouillet et al., 2004, 2007 ; Camos, 2017). Mesurer l'empan complexe nécessite une alternance entre mémorisation et traitement (voir figure 2) et peut être considéré comme une situation multitâche.

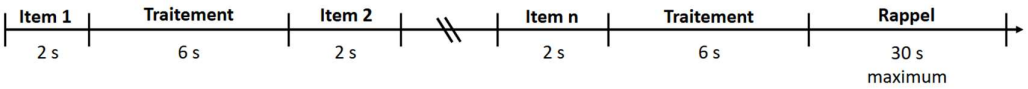


Figure 2 : Procédure d'évaluation de l'empan complexe. Il est demandé à l'individu de mémoriser une liste d'éléments qui sont présentés de façon séquentielle. Une tâche de traitement est insérée entre les éléments. Après le dernier élément, l'individu doit rappeler la liste d'éléments dans l'ordre de présentation.

Deux facteurs influencent la performance d'empan complexe : (1) plus la longueur des intervalles entre les éléments est importante, plus le nombre d'items rappelé est faible, et (2) plus le coût cognitif induit par la tâche de traitement est élevé, plus le nombre d'items rappelé est faible. Cela suggère que l'évaluation de la performance de l'empan complexe d'un individu pendant un vol est de nature à fournir un indicateur objectif du coût cognitif des tâches de pilotage pour l'individu.

L'expérience réalisée ici consiste à utiliser, pour un groupe de participants, un protocole d'empan complexe dans lequel les éléments à mémoriser sont des éléments d'un plan de vol (p. ex., terrain de déroutement, etc.) et où les tâches de traitement correspondent à une recherche visuelle de potentielle collision (c.-à-d., regarder hors du cockpit pour éviter tout évènement de collision). Voir la figure 3. Ce groupe est considéré comme le groupe multitâche. Il est comparé à un autre groupe dont les participants réalisent les tâches de mémorisation et de traitement séparément, donc en condition de simple tâche. Ce dernier groupe est considéré comme le groupe contrôle.

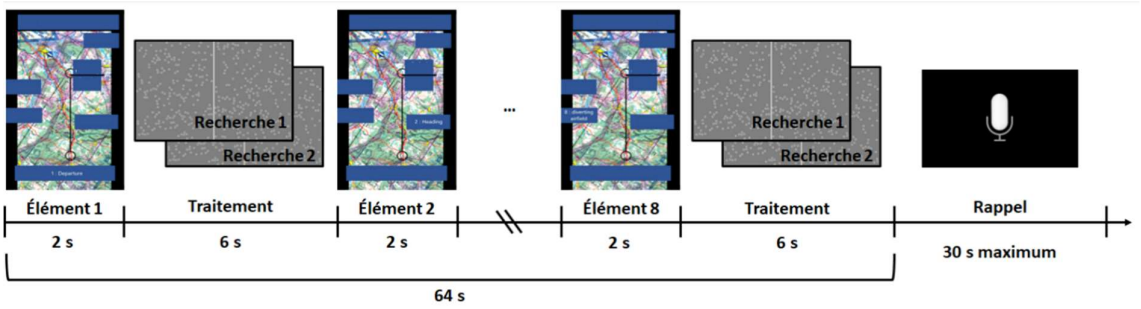


Figure 3 : Vue d'ensemble d'un essai pour le groupe multitâche.

Au cours de chaque tâche de traitement, les participants réalisent au moins deux recherches visuelles consécutives. Selon le modèle de Rogers et Monsell (1995), la première recherche nécessite l'activation des règles de la tâche de traitement (coût de permutation), alors que la seconde recherche ne nécessite pas cette activation, et correspond donc à des répétitions (voir figure 1). Dans la littérature, une situation de permutation a classiquement un coût plus élevé qu'une situation de répétition.

La première hypothèse est que les participants du groupe multitâche auront un empan complexe plus faible que les participants du groupe contrôle, reflétant le coût exercé par la tâche de traitement sur la tâche de mémorisation. De plus, le coût cognitif étant mesuré par le temps de réponse pour chaque recherche visuelle effectuée lors d'une tâche de traitement, la seconde hypothèse est que le temps de réponse moyen de la première recherche dans une tâche de traitement (Recherche 1) sera plus long que celui des secondes recherches (Recherche 2) pour le groupe multitâche. Ce groupe réalisant la tâche de mémorisation (des éléments du plan de vol) avant chaque tâche de traitement devrait avoir un coût de permutation lors du changement de tâche, et plus précisément sur la réalisation de la première recherche de la tâche de traitement.

2. MÉTHODE

2.1. Participants

Les 28 participants (âge moyen de 23 ans ± 2,5), *ab initio* en pilotage, sont répartis en deux groupes : un groupe (G1) qui effectue des tâches en situation multitâche (n = 14), et un groupe (G2) qui effectue des tâches en situation de simple tâche (n = 14). Les participants sont des novices en aéronautique et ne présentent aucun problème auditif ni visuel. Les participants ont donné leurs consentements libres et éclairés pour participer à cette étude.

2.2. Matériel

Les expériences sont réalisées sur des ordinateurs Dell, précision 7710. Pour la tâche de mémorisation, les participants ont répondu en rappelant verbalement les éléments, enregistrés par le microphone de l'ordinateur. Pour la tâche de traitement, les participants ont utilisé les touches du clavier pour répondre. Les stimuli sont affichés sur deux écrans de 17 pouces, placés l'un au-dessus de l'autre, ayant une résolution de 1920*1080 pixels. La tâche de traitement était affichée sur l'écran supérieur, et la tâche de mémorisation sur l'écran inférieur (c'est-à-dire comme si le plan de navigation était sur les genoux), afin de respecter l'organisation spatiale d'un cockpit réel (Froger et al., 2018). Les expériences sont codées à l'aide du logiciel E-Prime3.

2.2.1. Tâche de mémorisation : maintien en mémoire des éléments d'un plan de vol

Cette tâche de mémorisation consiste à mémoriser huit éléments classiques de plan de vol affichés sur une carte aéronautique réelle : 1) ville de départ, 2) cap (en degrés), 3) ville d'arrivée, 4) durée du trajet (en min), 5) altitude de sécurité (en pieds), 6) quantité minimale de carburant nécessaire pour atteindre la destination, 7) quantité de carburant restant dans les réservoirs (en gallons), et 8) zone la plus proche à atteindre en cas de problème (aérodrome de déroutement). Les éléments sont affichés, dans l'ordre, un par un sur l'écran pendant 2 secondes chacun. Le temps entre chaque présentation d'élément est de six secondes. Ensuite, les participants réalisent une phase de rappel, dans laquelle ils doivent rappeler verbalement le plus grand nombre d'éléments possible, dans le même ordre de présentation en 30 secondes. Les participants réalisent cette tâche pendant 20 essais, basés sur des plans de vol différents. La performance à cette tâche est mesurée sous la forme d'un empan complexe. Ce dernier est défini comme le nombre d'éléments du plan de vol correctement rappelés dans le bon ordre (même après une erreur).

2.2.2. Tâche de traitement : recherche visuelle de potentielle collision

La tâche de traitement est une tâche de recherche visuelle de type SuRT : Surrogate Reference Task (Mattes & Hallen, 2009) dans laquelle il faut trouver un cercle plus grand (cible) parmi un ensemble de cercles plus petits et de même taille (distracteurs). Il y a toujours 400 cercles à l'écran, mais la cible n'est présente que dans certaines recherches. Les participants doivent répondre le plus rapidement possible en appuyant sur l'une des trois touches (I si la cible se trouve dans l'écran de gauche, P si la cible se trouve dans l'écran de droite, et O s'il n'y a pas de cible). Lorsque les participants donnent une réponse, une nouvelle recherche suit. Les probabilités de réponse (gauche, droite, non présente) sont identiques. La qualité (correcte ou non) des réponses est enregistrée, ainsi que les temps de réponse pour les réponses correctes. Les participants ont 6 secondes pour réaliser un maximum de recherches, c'est-à-dire que pendant cette période toute réponse du participant est suivie d'une nouvelle recherche. La durée de la tâche de traitement est bloquée (6 secondes) afin de s'assurer que seul le coût cognitif de la tâche de traitement se répercute sur l'empan complexe. La mesure du coût de permutation pour cette tâche repose sur les temps de réponse pour les premières et secondes recherches de chaque essai de tâche de traitement.

2.3. Procédure

Les participants commencent par lire les consignes et se familiariser avec la présentation des stimuli et les moyens de réponses. Cette phase dure 5 minutes.

Pour le groupe multitâche (G1), les participants réalisent 20 essais composés, conformément au protocole d'évaluation de l'empan complexe, d'une tâche de mémorisation (maintien en mémoire d'éléments d'un plan de vol) dans laquelle est intercalée plusieurs fois la tâche de traitement (recherche visuelle de potentielle collision). Les éléments à mémoriser apparaissent un par un sur une carte aéronautique et restent à l'écran pendant 2 secondes. Puis la tâche de traitement s'affiche. Les participants ont 6s secondes pour réaliser un maximum de recherche de cette tâche. Puis un nouvel élément à mémoriser est présenté. Ce processus continu jusqu'à ce que les huit éléments à mémoriser soient présentés. Enfin, le participant rappelle oralement un maximum d'éléments à mémoriser dans l'ordre de présentation (voir figure 3). Pour les participants du groupe multitâche, l'étude dure environ 35 minutes (20 essais durent environ 30 minutes, plus les 5 minutes de familiarisation).

Pour le groupe simple tâche (G2), les participants réalisent 2 séries de 20 essais. La première série est composée uniquement de la tâche de mémorisation et la deuxième série est composée uniquement de la tâche de traitement. La procédure d'un essai du groupe de simple tâche est identique à celui du groupe multitâche. Cependant, les participants n'ont que l'affichage de la tâche de mémorisation et un écran noir à la place de la tâche de traitement pour la première série d'essais. Pour la seconde série d'essais, ils ne voient que la tâche de traitement et des écrans noirs à la place de la tâche de mémorisation. Pour les participants du groupe simple tâche, l'étude dure environ 65 minutes (40 essais durent environ 60 minutes, plus les 5 minutes de familiarisation).

3. RÉSULTATS

3.1. Tâche de mémorisation : Empan complexe

Il y a une différence significative entre l'empan complexe du groupe multitâche (G1) et celui du groupe simple tâche (G2) : $t(24) = 2.22$; $p < .02$. Moins d'éléments sont rappelés correctement dans le bon ordre dans la situation multitâche ($M = 3.93$, $SE = 0.47$) que dans la situation de simple tâche ($M = 5.24$, $SE = 0.33$). Voir la figure 4. Les résultats de cette expérience sont en accord avec la littérature, où l'empan complexe est de cinq éléments chez les adultes (Barrouillet et al., 2004).

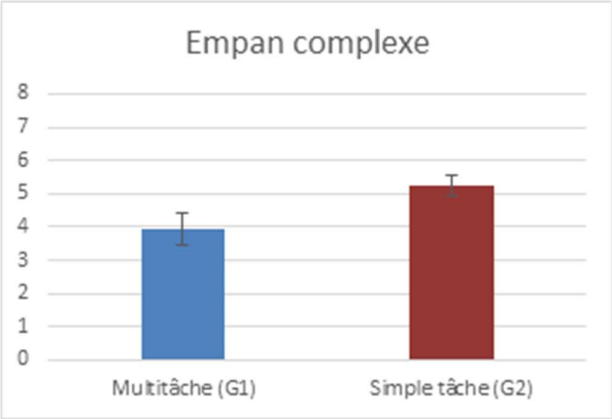


Figure 4 : Empan complexe (nombre d'éléments moyens rappelés) en fonction du groupe (G1 : situation multitâche et G2 : situation simple tâche). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard.

3.2. Tâche de traitement : Coût de permutation

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur le temps de réaction avec le facteur intragroupe de permutation (recherche 1 vs recherche 2) et le facteur inter-groupe de situation (multitâche vs simple tâche). L'effet principal de la permutation est significatif [$F(1, 26) = 87.64$, $p <$

.001]. Les temps de réponse sont plus longs dans la recherche 1 (M = 2893.93 ms, SE = 139.44) que dans la recherche 2 (M = 1726.4 ms, SE = 100.53). L'effet principal de la situation n'est pas significatif [F(1, 26) = 1,27, p = .27]. Les temps de réponse sont proches entre la situation multitâche (M = 2427.45 ms, SE = 97.43 ms) et la situation simple tâche (M = 2192.88 ms, SD = 184.24).

Les analyses Post-Hoc HSD de Tukey montrent qu'il y a une différence significative (p < .001) entre le temps de réponse pour la recherche 1 et celui pour la recherche 2 (coût de permutation) : pour le groupe multitâche (Moyenne recherche 1 = 2734.84 ms, SE = 236.13 ms ; moyenne recherche 2 = 1650.92 ms, SE = 163.66 ms) et pour le groupe simple tâche (Moyenne recherche 1 = 3053.03 ms, SE = 145.31 ms ; moyenne recherche 2 = 1801.87 ms, SE = 119.67 ms). Voir la figure 5.

Il n'y a pas de différence significative entre le taux d'erreur du groupe multitâche (G1) et celui du groupe simple tâche (G2) : t(26) = 0.55 ; p = .29. Il y a autant de bonnes réponses dans le groupe multitâche (M = 42.6%, SE = 5.2%) que dans le groupe simple tâche (M = 46.7%, SE = 5.3%).

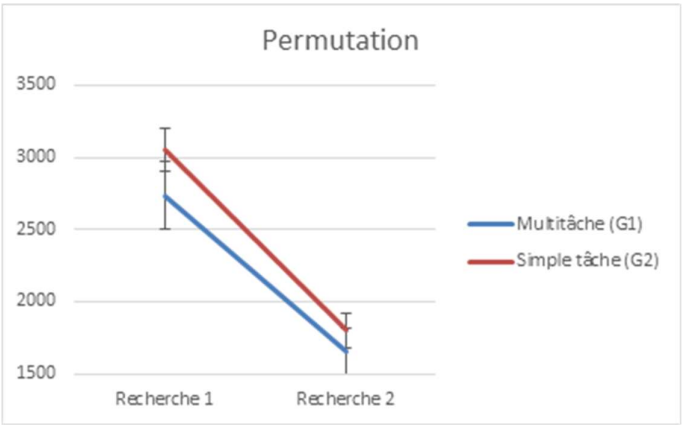


Figure 5 : Temps de réponse moyens (ms) en fonction de la recherche selon le groupe (G1 : situation multitâche et G2 : situation simple tâche). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard.

4. DISCUSSION

L'objectif de la présente étude était de tester une méthode d'évaluation du coût cognitif de tâches aéronautiques. La première hypothèse est que les participants du groupe multitâche (G1) ont un empan complexe plus faible que les participants du groupe simple tâche (G2), reflétant le coût exercé par la tâche de traitement sur la tâche de mémorisation. Les résultats montrent effectivement que les participants qui ont effectué la tâche de mémorisation en situation de simple tâche ont un empan complexe moyen plus important que ceux qui ont effectué la tâche en situation multitâche. Cela signifie que les tâches de traitement ont exacerbé le déclin des traces mnésiques des éléments, comme le prédit le modèle TBRS (Camos & Barrouillet, 2004). Ce modèle stipule que deux facteurs agissent sur le déclin des traces mnésiques dans une tâche d'empan complexe : le temps et le coût cognitif induit par la tâche de traitement. Ainsi, pour la première fois, cette étude montre qu'il est possible d'évaluer le coût cognitif des individus en adaptant un protocole habituellement utilisé en laboratoire pour évaluer l'empan complexe dans un environnement simulant partiellement un contexte aéronautique.

La seconde hypothèse est que le temps de réponse est plus long pour la recherche 1 (précédé par la tâche de mémorisation d'éléments du plan de vol) que pour la recherche 2 dans une situation multitâche, en raison du coût de permutation. Ce coût de permutation est dû à la nécessité de réactiver les règles des tâches lors de chaque changement de tâche (Miyake et al., 2000, Rogers & Monsell, 1995). Le même type de coût a également été mis en évidence dans les situations multitâches (Liepelt et al., 2011). Cependant, nos résultats ne valident pas cette hypothèse. Les participants du groupe simple tâche (G2) ont également subi une augmentation du coût cognitif, même sans tâche de

mémorisation insérée entre les tâches de traitement. Cela suggère que l'ajout d'une tâche de mémorisation n'ajouterait pas de coût supplémentaire à la permutation. De plus, les temps de réalisation de la recherche 2 étaient équivalents entre les deux groupes. Une explication possible de ces résultats peut être trouvée dans la littérature sur le "Task-set Dissipation", notamment dans l'étude menée par Horoufchin et al. (2011). Cette notion suggère la présence d'une variable confondue, à savoir le temps de pause de deux secondes, qui semble être suffisamment long pour provoquer un déclin des règles de la tâche précédente. Afin de valider pleinement la mesure du coût de permutation, il est donc essentiel de mener de nouvelles expérimentations en contrôlant cette variable confondue.

Dans le cadre de cette recherche, une application concrète des résultats pourrait consister en l'utilisation, par un instructeur de vol, d'éléments à mémoriser afin d'estimer le coût cognitif d'une tâche de traitement spécifique pour un pilote en formation. Par exemple, ces tâches pourraient concerner le maintien de l'altitude, le maintien de la vitesse, les communications radiophoniques, et autres. Cette méthode offre la possibilité de mesurer le coût cognitif d'un apprenant pendant l'exécution des tâches qu'il est en train d'apprendre. Elle peut être appliquée à une variété de tâches aéronautiques, qu'il s'agisse de mesurer le coût cognitif d'une tâche de base pour un élève pilote, ou d'évaluer le coût induit par de nouvelles technologies (comme les interactions avec l'intelligence artificielle) dans des appareils en développement par l'industrie.

L'évaluation du coût cognitif des tâches permettra de concentrer les efforts d'automatisation sur les tâches les plus exigeantes, libérant ainsi au mieux les ressources du système cognitif. Cette méthode permet également d'adapter la formation aux difficultés singulières rencontrées par chaque individu. Par exemple, les performances individuelles peuvent varier en fonction du contexte et de manière inter-individuelle et intra-individuelle. Ainsi, il serait possible d'évaluer la performance d'un individu dans une tâche complexe en dehors de la tâche d'apprentissage, puis de comparer cette performance à celle réalisée dans la tâche complexe avec l'apprentissage en cours. Si les performances dans les tâches complexes sont similaires, cela pourrait indiquer qu'il est nécessaire d'ajouter de la difficulté. En revanche, si les différences de performances sont trop importantes (ce qui doit être défini plus précisément), il faudra envisager de réduire la difficulté.

En conclusion, cette méthode présente d'importants avantages. Elle se révèle être un nouvel outil précieux pour mesurer le coût cognitif des tâches effectuées lors d'activités aéronautiques. De plus, elle offre l'avantage d'être peu coûteuse en termes de temps et de ressources pour les instructeurs. Toutefois, des adaptations futures doivent être testées afin de permettre une évaluation en temps réel du coût cognitif associé aux tâches de traitement pendant les vols conventionnels. Il est également important d'étudier les effets et les liens de cette méthode avec d'autres approches, telles que celles décrites par Hancock et Matthews (2019). Une exploration plus approfondie de ces interactions pourrait permettre une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents au coût cognitif et ouvrir des perspectives d'amélioration supplémentaires. Ainsi, en combinant différentes méthodes, il serait possible d'obtenir une évaluation plus complète et précise du coût cognitif lors des activités aéronautiques. Ces constatations ouvrent de nouvelles perspectives dans l'amélioration de l'évaluation du coût cognitif et de son impact sur les performances dans le domaine de l'aviation.

5. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ÉTHIQUES

Nous remercions tous les participants pour leur temps et leur volonté de participer. Aucune incitation à participer n'a été donnée et les directives éthiques de la déclaration d'Helsinki ont été suivies. Ce projet est financé par l'Agence Innovation Défense. Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêts.

6. BIBLIOGRAPHIE

Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *49*(1), 5-28. https://doi.org/10.1080/713755608

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417-423. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2

Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 83. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.83

Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). The time-based resource-sharing model of working memory. *The Cognitive Neuroscience of Working Memory*, *455*, 59-80. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198570394.003.0004

Camos, V. (2017). Domain-specific versus domain-general maintenance in working memory: Reconciliation within the time-based resource sharing model. *Psychology of Learning and Motivation*, *67*, 135-171. https://doi.org/10.1016/bs.plm.2017.03.005

Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.006.

Froger, G., Blättler, C., Dubois, E., Camachon, C., & Bonnardel, N. (2018). Time-interval emphasis in an aeronautical dual-task context: A countermeasure to task absorption. Human Factors, *60(*7), 936–946. https://doi.org/10.1177/0018720818783946

Hancock, P. A., & Matthews, G. (2019). Workload and Performance: Associations, Insensitivities, and Dissociations. *Human Factors, 61*(3), 374–392. https://doi.org/10.1177/0018720818809590

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload*. North Holland Press. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Kreitz, C., Furley, P., Memmert, D., & Simons, D. J. (2016). The influence of attention set, working memory capacity, and expectations on inattentional blindness. *Perception*, *45*(4),386399. https://doi.org/10.1177/0301006615614465

Liepelt, R., Strobach, T., Frensch, P., & Schubert, T. (2011). Improved intertask coordination after extensive dual-task practice. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(7), 1251-1272. https://doi.org/10.1080/17470218.2010.543284

Mattes, S., & Hallen, A. (2009). Surrogate distraction measurement techniques: The Lane Change Test. In M. A. Regan, J. D. Lee, & K. L. Young (Eds.), (pp. 107-121). Boca Raton,. FL: CRC Press Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.1201/9781420007497-16

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49-100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Monsell, S. (2015). Task-set control and task switching. In J. M. Fawcett, E. F. Risko, & A. Kingstone (Eds.), *The handbook of attention* (pp. 139-172). Boston Review. https://doi.org/10.1093/med:psych/9780198528883.003.0002

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in single tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*(2), 220. https://doi.org/10.1037/0033-2909.116.2.220

Horoufchin, H., Philipp, A. M., & Koch, I. (2011). The dissipating task-repetition benefit in cued task switching: Task-set decay or temporal distinctiveness? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 37*(2), 455–472. https://doi.org/10.1037/a0020557

Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*(2), 207. https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. Learning and Instruction, *4*(4), 295-312. https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5

Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177. https://doi.org/10.1080/14639220210123806

CL : *Rôle de l'état auditif dans l'amélioration de l'intelligibilité et de l'effort d'écoute apportée par la spatialisation sonore en situation multilocuteurs*

Guillaume Andéol[1], Cosima Lanzilotti[2], Sebastien Scannella[3]

[1]Institut de recherche médicale des armées, guillaume.andeol@intradef.gouv.fr

[2] Institut de recherche médicale des armées, cosimalanzilotti@gmail.com

[3]Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace, sebastien.scannella@isae-supaero.fr

RÉSUMÉ

Les militaires opérateurs radio doivent parfois gérer simultanément plusieurs réseaux. Ils sont ainsi exposés à des situations dites « multilocuteurs » où ils doivent tenter de comprendre un message cible émis par un locuteur alors que d'autres locuteurs émettent d'autres messages. La spatialisation sonore permet de faciliter l'intelligibilité du message cible grâce à une ségrégation spatiale des voix des locuteurs. Cependant, l'altération de l'état auditif des militaires du fait d'une exposition chronique aux bruits d'armes pourrait limiter leur perception auditive spatiale et dont l'effet de la ségrégation spatiale. L'étude présentée ici a pour objectif de déterminer si l'état auditif des opérateurs conditionne l'amélioration de l'intelligibilité et la réduction de l'effort d'écoute apportées par la spatialisation sonore. Trente-et-un participants ont eu leur état auditif évalué avant de réaliser une tâche d'intelligibilité en situation multilocuteurs. Les résultats sont en faveur d'une absence d'effet de l'état auditif sur le gain apporté par la spatialisation sonore.

MOTS-CLÉS

Interface homme système, spatialisation sonore, audition, audiométrie tonale.

1. INTRODUCTION

Les militaires opérateurs des systèmes de communication sont amenés à gérer simultanément plusieurs réseaux radio. Ils sont ainsi exposés à des situations dites « multilocuteurs » où ils doivent tenter de comprendre un message « cible » émis par un locuteurs en présence d'autres messages « masque » émis par d'autres locuteurs (Brungart et al., 2001). Une moindre intelligibilité est la conséquence classique des situations multilocuteurs mais d'un point de vue ergonomique, elles induisent également une augmentation de la charge cognitive correspondant ici à l'effort d'écoute (Zekveld et al., 2014). Ainsi, les opérateurs peuvent subir une surcharge cognitive, source d'erreur par exemple dans la réalisation de tâches auditives ou non auditives. Or dans les systèmes à risque tels que ceux où évoluent les militaires, ces erreurs peuvent conduire à des incidents voire des accidents (Sheffield et al., 2017). Cependant, le concept d'effort d'écoute comme celui de charge cognitive est un concept difficile à appréhender et à mesurer, pouvant correspondre à un vécu subjectif d'un auditeur ou à une variable dépendant d'une situation expérimentale. Dans la présente étude, une mesure subjective est apparue plus cohérente pour rendre compte des conséquences sur la motivation de l'opérateur, elle-même cruciale pour maintenir la conscience de la situation la sécurité de l'individu.

Afin d'améliorer l'intelligibilité tout en réduisant l'effort d'écoute, il a été proposé d'utiliser une technologie de présentation de l'information sonore dite « spatialisation sonore » ou « son 3D » (Andeol & Guillaume, 2010; Begault, 1998). Lorsque plusieurs réseaux radio sont présentés en son 3D,

l'auditeur les perçoit comme semblant provenir de différentes positions de l'espace. Ainsi, l'auditeur retrouve une situation naturelle, par exemple celle vécue lors d'événements sociaux où un auditeur échange avec un locuteur en présence d'autres locuteurs, situation dite de « cocktail-party » (Wood & Cowan, 1995). La spatialisation sonore permet alors de réduire l'écart entre une situation d'écoute naturelle et celle produite par les systèmes de communication améliorant ainsi l'ergonomie globale. Par ailleurs, l'intelligibilité ainsi que l'effort d'écoute ont tendance à s'améliorer lorsque l'écartement entre les locuteurs augmente (Xia et al., 2015). Cette amélioration permettrait de réduire la variabilité inter-individuelle observée en situation multi locuteurs ; il a ainsi été montré que les différences d'intelligibilité liées à l'âge des auditeurs étaient plus faible lors de l'écoute de voix spatialisées vs non spatialisées (Füllgrabe et al., 2014). Cependant, la capacité à discriminer la position spatiale de sources auditives pourrait être altérée chez des individus porteurs de lésions auditives et donc limiter les gains apportés par la spatialisation sonore (Shinn-Cunningham & Best, 2008). Or, les militaires du fait d'une exposition chronique à de forts niveaux de bruit, souffrent souvent d'une altération de leur audition (Medina-Garin et al., 2016). L'étude présentée ici cherche donc à déterminer si l'état auditif de l'auditeur tel qu'il peut être mesuré par audiométrie tonale liminaire et produits de distorsion acoustique, a un effet sur l'amélioration de l'intelligibilité et la réduction de l'effort d'écoute obtenues par l'écartement des locuteurs grâce à la spatialisation sonore. Enfin, selon l'effet observé, une intervention ergonomique visant à adapter les systèmes de communication radio à l'opérateur pourrait être envisagée.

2. MILIEU D'IMPLANTATION ET METHODES

2.1. Participants

Trente-et-un volontaires ont participé à cette expérience (7 femmes, M=38.19±7.81). Les participants étaient des militaires de carrière qui pouvaient avoir été exposés à des bruits intenses. L'étude a été approuvée par le Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-Mer II, IDRCB 2017-A00859–44). Avant de commencer l'étude, les participants lisaient un document d'information sur l'expérience et leur consentement écrit était récolté. Ils étaient indemnisés 20 euros. L'étude s'est déroulée sur le site de la Section Technique de l'Armée de Terre (STAT) à Versailles et sur le site de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA) à Brétigny sur Orge. Tous les participants étaient aptes au service dans leur spécialité.

2.2. Tache d'intelligibilité

Les participants étaient invités à effectuer une tâche adaptée à partir du « Coordinate Response Measure » (CRM) corpus ; (Bolia et al., 2000). Le protocole du CRM corpus était constitué d'une liste de phrases, chacune composée d'un des huit noms de code « call sign » (Baron, Charlie, Ringo, Eagle, Arrow, Hopper, Tiger, Laker), d'une couleur (bleu, vert, rouge et blanc) et d'un chiffre (de 1 à 8). La structure d'une phrase était : "Ready [Call Sign] go to [Color] [Number] Now". La phrase désignée comme la voix cible était celle avec le call sign Baron. Toutes les autres phrases ayant un call sign autre que Baron devaient être considérées comme des voix masques. Les participants devaient suivre les indications de la voix cible, qui leur demandait d'associer une couleur à un chiffre. Ils pouvaient ensuite indiquer la couleur et le chiffre sur un boîtier de réponse. Tous les locuteurs (voix cible et voix masques) étaient masculins. Deux conditions expérimentales étaient réalisées. Dans les deux conditions, la voix cible était toujours placée à 0° droit devant l'auditeur. Dans la première condition la voix cible était présentée avec deux voix masques respectivement à +60° et -60°. Dans la deuxième condition, la voix cible était présentée avec deux voix masques à +20° et -20° (c.-à-d., CRM.20). Toutes les voix ont été présentées au même niveau d'intensité sonore (rapport signal/bruit égal à 0 dB).

2.3. Mesure de l'effort d'écoute

L'échelle pour évaluer l'effort d'écoute a été traduite en français à partir de l'Effort Scaling Categorical Unit (ESCU) qui est une échelle catégorielle d'évaluation de l'effort d'écoute ressenti pour réaliser une tâche auditive (Rennies et al., 2019; Rennies & Kidd, 2018). L'échelle utilisée était composée de 13 catégories dont sept avec les labels suivants : pas d'effort à faire pour répondre (1 ESCU), très peu d'effort (3 ESCU), peu d'effort (5 ESCU), effort modéré (7 ESCU), effort considérable (9 ESCU), beaucoup d'effort (11 ESCU), effort extrême (13 ESCU) et que du bruit (14 ESCU). Six catégories intermédiaires s'ajoutaient entre chacune des catégories labellisées.

2.4. Mesures de l'état auditif

2.4.1. Audiométrie

L'audiométrie tonale liminaire a été effectuée avec un audiomètre ELIOS (© 2020 Echodia) dans une cabine audiométrique. L'audiométrie tonale liminaire a été réalisée pour les fréquences : 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000, et 12500 Hz (seuil très haute fréquence).

2.4.2. Otoémissions

L'évaluation du système auditif se poursuivait par les enregistrements des produits de distorsion acoustiques des otoémissions (PDA). Les PDA ont été mesurés sur les fréquences 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 Hz à deux niveaux d'intensité 65/65 dB et 55/55 dB pour chaque oreille droite et gauche (F1 = 1,2*F2). Le participant était invité à s'allonger sur une civière médicale et à se détendre complètement pour éviter tous mouvements ou bruits externes dérangeants en vue de l'enregistrement. Les valeurs des produits de distorsion inférieures à -10 dB ou dont le rapport signal sur bruit était inférieur à 3 n'étaient pas incluses dans les analyses.

2.5. Analyse des données

Une réponse était considérée correcte à la tâche d'intelligibilité quand la couleur et le chiffre étaient correctement reportés. Pour évaluer si l'amélioration de l'intelligibilité avec la séparation spatiale des locuteurs est fonction de l'état auditif, nous avons considéré la différence d'intelligibilité entre la condition avec écartement 20° et la condition avec écartement 60° (c.-à-d., Différence_intelligibilité) et les mesures de l'état auditif (c.-à-d., audiométries et PDA). Ensuite, des corrélations de Spearman ont été réalisées entre a) la Différence_intelligibilité et les mesures de l'audiométrie et b) la Différence_intelligibilité et les PDA. Les mêmes évaluations ont été faites pour l'effort d'écoute (Différence_Effort).

3. RESULTATS

3.1. Relation entre la différence d'intelligibilité liée à un écartement des locuteurs

3.1.1. Audiométrie tonale liminaire

Aucune corrélation significative n'a été observée entre la variation de l'intelligibilité entre 20° et 60° (Différence_intelligibilité) et les seuils audiométriques mesurés à l'oreille gauche et à l'oreille droite, ($p=0,09$ dans le meilleur des cas) ; (Figure 1). Aucune corrélation significative n'a été observée pour les mesures dérivées des seuils audiométriques ($p=0,087$ dans le meilleur des cas) ; (Figure 1).

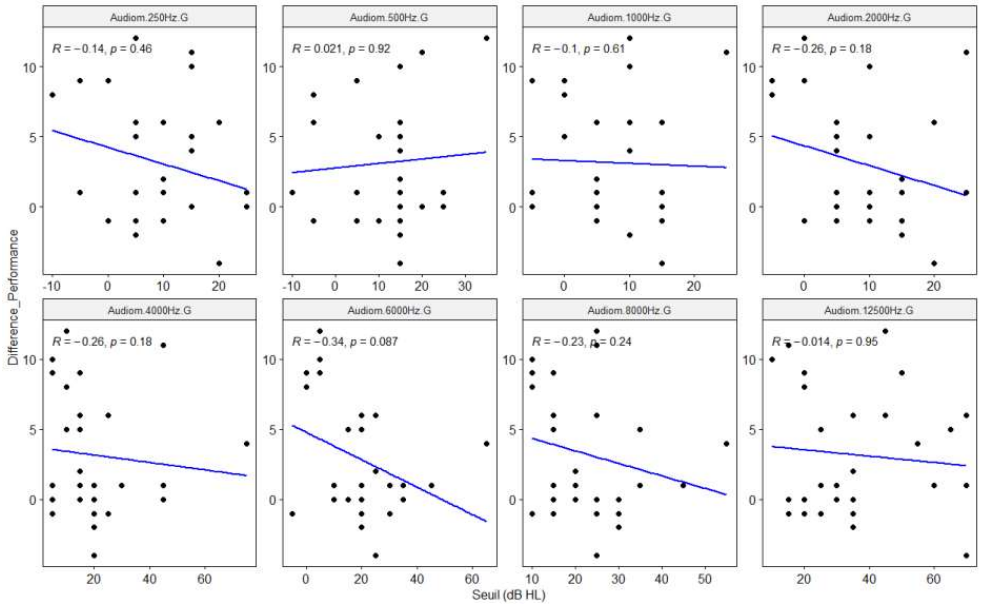


Figure 1 : Variation de l'intelligibilité entre 20° et 60° (Difference_intelligibilité) en fonction des seuils audiométriques mesurés à l'oreille gauche. Chaque cadre représente une fréquence de mesure et chaque point représente un participant. La droite bleue représente la droite de régression. Le coefficient de corrélation de Spearman et sa significativité sont indiqués en haut à gauche.

3.1.2. Produits de distorsion acoustique

Aucune corrélation significative n'a été observée entre la variation de l'intelligibilité entre 20° et 60° (Différence_intelligibilité) avec les PDA mesurés à l'oreille droite (p=0,071 dans le meilleur des cas). Pour les PDA mesurés à l'oreille gauche, une corrélation est observée entre la variation de l'intelligibilité entre 20° et 60° (Différence_intelligibilité) et l'amplitude des PDA mesurés à 2000 Hz (R=0,57 ; p<0,01) ; (Figure 2).

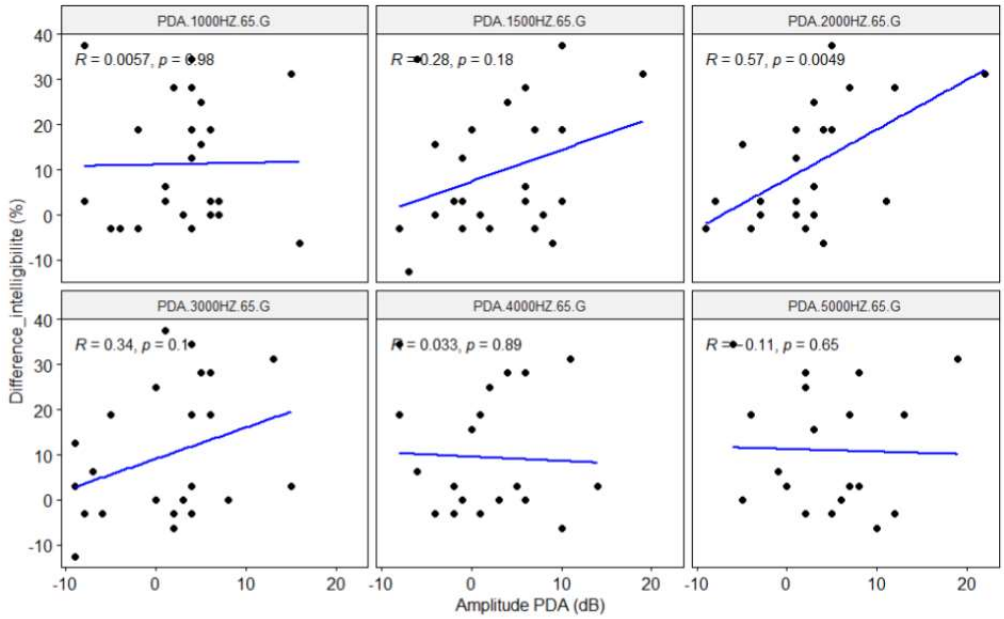
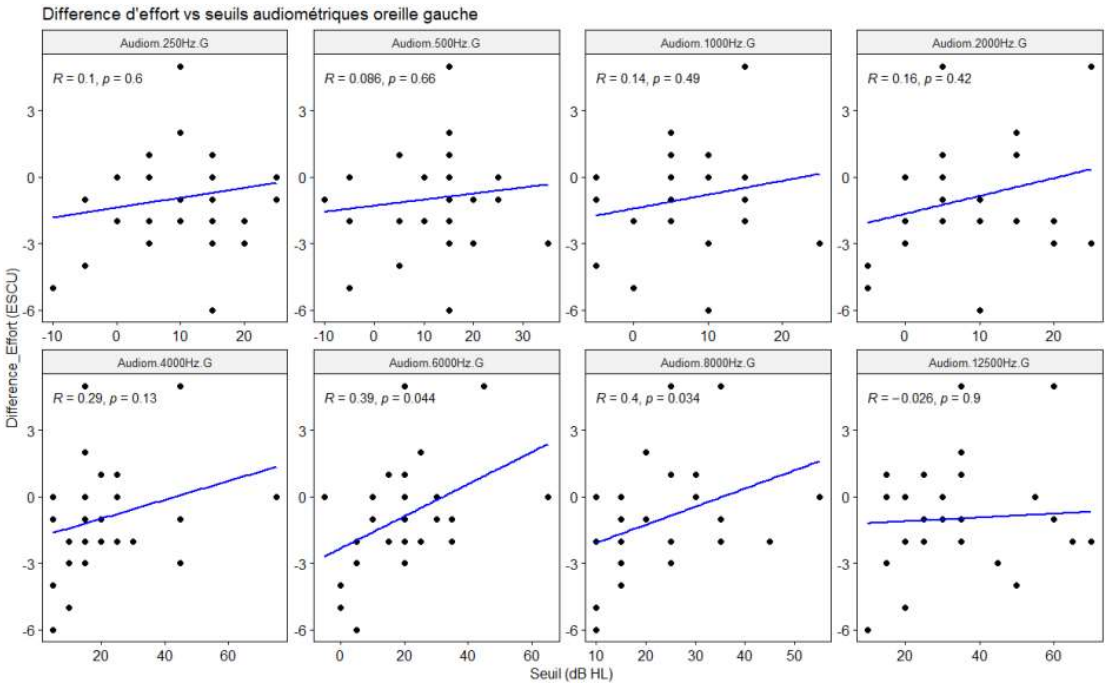


Figure 2 : Variation de l'intelligibilité entre 20° et 60° (Différence_intelligibilité) en fonction de l'amplitude des PDA pour les fréquences 1000 à 5000 Hz mesurés à l'oreille gauche. Chaque cadre représente une fréquence de mesure, où chaque point représente un participant. La droite bleue représente la droite de régression. Le coefficient de corrélation de Spearman et sa significativité sont indiqués en haut à gauche.

3.2. Relation entre la variation de l'effort d'écoute ressenti liée à un écartement des locuteurs et l'état auditif

3.2.1. Audiométrie tonale liminaire

Une corrélation significative a été observée entre la variation de l'effort d'écoute ressenti entre 20° à 60° et les seuils audiométriques mesurés à 6000 Hz (R=0,39 ; p<0,05) et 8000 Hz (R=0,4 ; p<0,05) à l'oreille gauche. Au plus le seuil audiométrique est bas au plus la réduction de l'effort est importante (Figure 3). Par conséquent, les participants avec un état auditif plus intègre étaient aussi les participants qui ressentaient une plus grande réduction de l'effort entre la condition 20° et la condition 60°. En d'autres termes, ils semblent bénéficier plus de l'écartement des voix masques.



<u>Figure 3 :</u> Variation de l'effort d'écoute ressenti entre 20° à 60° (Différence_Effort) en fonction des seuils audiométriques mesurés à l'oreille gauche de 250 à 12500 Hz. Chaque cadre représente une fréquence de mesure et chaque point représente un participant. La droite bleue représente la droite de régression. Le coefficient de corrélation de Spearman et sa significativité sont indiqués en haut à gauche dans chaque cadre.

Aucune corrélation n'a été observée au niveau de l'oreille droite (p=0,1 dans le meilleur cas) pour les seuils audiométriques; (Figure 4).

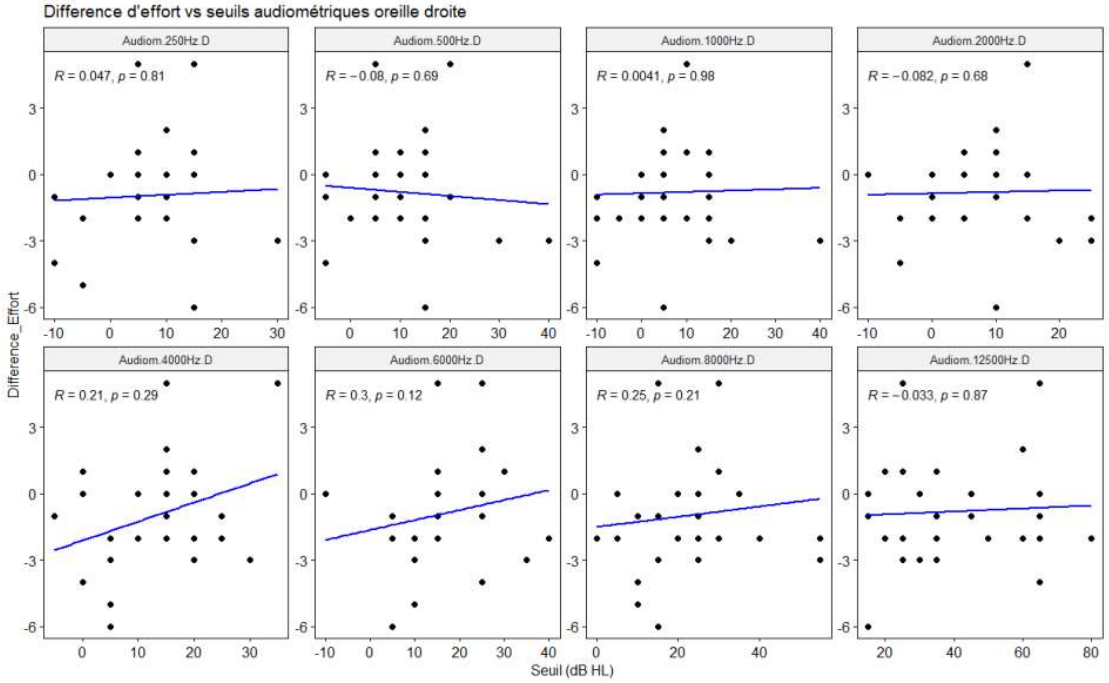


Figure 4 : Variation de l'effort d'écoute ressenti entre 20° et 60° (Différence_Effort) en fonction des seuils audiométriques mesurés à l'oreille droite. Chaque cadre représente une fréquence de mesure et chaque point représente un participant. La droite bleue représente la droite de régression. Le coefficient de corrélation de Spearman et sa significativité sont indiqués en haut à gauche.

3.2.2. Produits de distorsion acoustique

Aucune corrélation significative n'a été observée entre la variation de l'effort d'écoute ressenti entre 20° à 60° et les mesures des PDA à 65 dB ni à droite (p=0,2 dans le meilleur cas) ; (Figure 5), ni à gauche (p=0,1) ; (Figure 6).

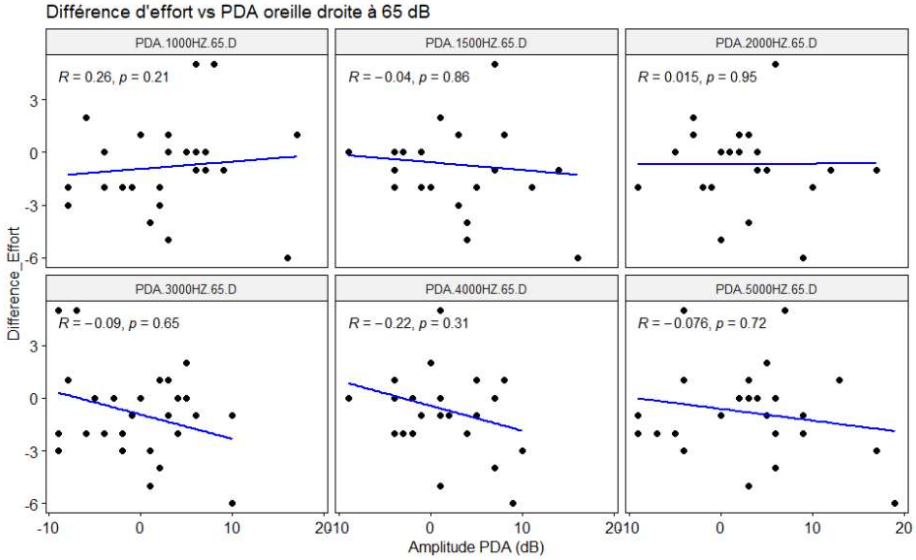
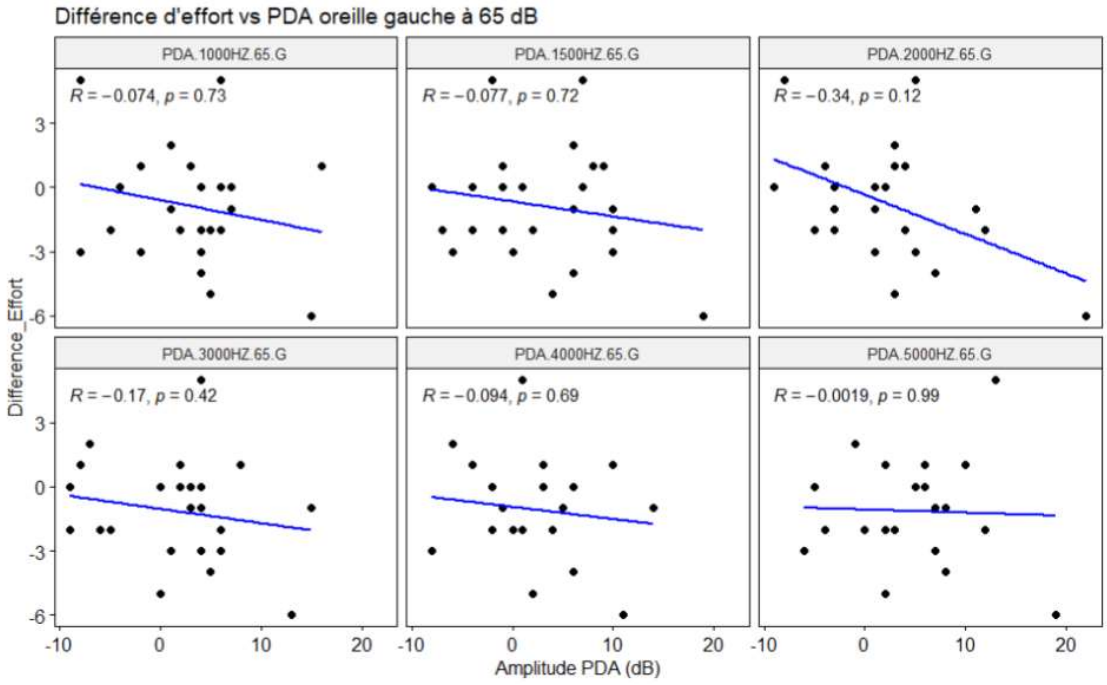


Figure 5 : Variation de l'effort d'écoute ressenti entre 20° et 60° (Différence_Effort) en fonction des amplitudes des PDA à 65 dB de l'oreille droite. Chaque cadre représente une fréquence de mesure et chaque point représente un participant. La droite bleue représente la droite de régression. Le coefficient de corrélation de Spearman et sa significativité sont indiqués en haut à gauche.



<u>Figure 6 :</u> Variation de l'effort d'écoute ressenti entre 20° et 60° (Différence_Effort) en fonction des amplitudes des PDA à 65 dB de l'oreille gauche. Chaque cadre représente une fréquence de mesure et chaque point représente un participant. La droite bleue représente la droite de régression. Le coefficient de corrélation de Spearman et sa significativité sont indiqués en haut à gauche.

4. DISCUSSION

La présente étude visait à évaluer si l'état auditif d'opérateurs militaires avait un effet sur les gains en termes d'intelligibilité et d'effort d'écoute liés à la séparation spatiale en situation multilocuteurs.

L'état auditif était évalué par audiométrie tonale liminaire et par mesure des produits de distorsion acoustique (PDA).

Les résultats concernant l'intelligibilité ont montré que les mesures de l'état auditif n'étaient pas corrélées significativement avec le gain d'intelligibilité lié à l'écartement. Les seuils audiométriques ne semblent pas expliquer la capacité à bénéficier de la séparation spatiale des locuteurs. Concernant les PDA, seule la mesure à 2000 Hz a montré une corrélation significative avec la différence d'intelligibilité liée à l'écartement des voix masques. Des amplitudes plus élevées sont supposées refléter une meilleure fonctionnalité des cellules ciliées externes, également appelées « amplificateur » de l'organe de l'audition, la cochlée (Avan, 2022). Ainsi, ce résultat serait en faveur du fait que ce sont les participants ayant la meilleure audition qui tirent parti de la séparation spatiale, réfutant une réduction de la variabilité inter-individuelle grâce à la séparation spatiale, comme cela avait été observée chez les sujets âges (Füllgrabe et al., 2014). Globalement les résultats liés à l'évaluation de l'état auditif sont plutôt en faveur d'un lien faible entre l'état auditif et la différence de performance induite par l'écartement des voix masques.

Concernant la différence d'effort d'écoute, la seule corrélation significative a été observée avec certaines fréquences audiométriques (c.-à-d., 6000 et 8000 Hz). Globalement, les participants avec un seuil audiométrique plus bas (c.-à-d., une audition théoriquement moins altérée) présentaient une réduction de l'effort plus importante. Cependant, ce résultat était limité à une seule oreille. Ainsi, les résultats concernant les relations entre l'état auditif et l'intelligibilité ou l'effort d'écoute n'ont pas mis en évidence de lien notable. La variabilité observée dans les performances d'intelligibilité ou dans la

mesure de l'effort d'écoute n'est donc pas expliquée par l'état auditif. Cependant, il est possible qu'elle soit en partie expliquée par la technique de spatialisation elle-même et à la localisation spatiale des différentes voix. En effet, lors de l'écoute de sons spatialisés, il est fréquent que l'auditeur éprouve des difficultés à percevoir la position « droit devant » qui était ici la position de la voix cible. Le « droit devant » a tendance à être perçue surélevé et non au niveau du plan horizontal ou derrière l'auditeur et non devant (Wightman et Kistler, 1999 ; Andéol et al., 2015) provoquant une dissonance cognitive chez le participant. Lors d'une prochaine étude, ce point pourrait être exploré en demandant à l'auditeur où la voix cible était perçue. De plus, il est possible que de meilleures performances soient obtenues avec le même degré de séparation spatiale mais en évitant de positionner la voix cible droit devant (par exemple en la plaçant sur les côtés). Pour conclure, l'état auditif ne serait pas un facteur limitant l'intelligibilité en situation multilocuteurs. Néanmoins, il reste à déterminer les facteurs sous-tendant cette variabilité pour la réduire et améliorer l'intelligibilité pour le maximum d'opérateurs.

5. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ETHIQUES

Les auteurs remercient Bruno Sourdillat et François Capman de Thales Sixt GTS pour la thèse CIFRE de Cosima Lanzilotti, Jean Christophe Bouy pour le soutien informatique, le personnel de la Section technique de l'armée de Terre pour la participation de son personnel militaire et civil.

6. BIBLIOGRAPHIE

Andeol, G., & Guillaume, A. (2010). Le son 3D en aéronautique : Applications et contraintes. *Médecine aéronautique et spatiale*, *51*(189), 5-12.

Avan, P. (2022). Physique et sens de l'audition : D'une approche acoustique à une intégration aux neurosciences moléculaires. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, *206*(1), 50-58. https://doi.org/10.1016/j.banm.2021.09.015

Begault, D. R. (1998). Virtual acoustics, aeronautics, and communications. *Journal of the Audio Engineering Society. Audio Engineering Society*, *46*(6), 520-530.

Brungart, D. S., Simpson, B. D., Ericson, M. A., & Scott, K. R. (2001). Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *110*(5 Pt 1), 2527-2538. https://doi.org/10.1121/1.1408946

Füllgrabe, C., Moore, B. C. J., & Stone, M. A. (2014). Age-group differences in speech identification despite matched audiometrically normal hearing : Contributions from auditory temporal processing and cognition. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*, 347. https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00347

Medina-Garin, D. R., Dia, A., Bedubourg, G., Deparis, X., Berger, F., & Michel, R. (2016). Acute acoustic trauma in the French armed forces during 2007–2014. *Noise & Health*, *18*(85), 297.

Sheffield, B., Ziriax, J., Keller, M. D., Barns, W., & Brungart, D. (2017). The impact of reduced speech intelligibility on reaction time in a naval combat environment. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *61*(1), 1570-1574.

Shinn-Cunningham, B. G., & Best, V. (2008). Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends in Amplification*, *12*(4), 283-299. https://doi.org/10.1177/1084713808325306

Wood, N. L., & Cowan, N. (1995). The cocktail party phenomenon revisited : Attention and memory in the classic selective listening procedure of Cherry (1953). *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*(3), 243.

Xia, J., Nooraei, N., Kalluri, S., & Edwards, B. (2015). Spatial release of cognitive load measured in a dual-task paradigm in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *137*(4), 1888-1898. https://doi.org/10.1121/1.4916599

Zekveld, A. A., Rudner, M., Kramer, S. E., Lyzenga, J., & Rönnberg, J. (2014). Cognitive processing load during listening is reduced more by decreasing voice similarity than by increasing spatial separation between target and masker speech. *Frontiers in Neuroscience*, *8*, 88. https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00088

CC : *Effets de l'expertise dans la détection et l'analyse de défauts dans le domaine de la maintenance de matériel industriel complexe issu d'un secteur à risque*

Marius Gouthéraud, Jean-Michel Boucheix, Véronique Drai-Zerbib, Alessandro Carlini, Manon Ansart, Stéphane Argon & Michel Paindavoine

Université Bourgogne Franche-Comté LEAD CNRS UMR5022 Institut Marey I3M 64 rue de Sully 21000 Dijon,
Marius.Goutheraud@u-bourgogne.fr, Jean-Michel.Boucheix@u-bourgogne.fr, Veronique.Drai-Zerbib@u-bourgogne.fr, Stephane.Argon@gmail.com, Alessandro.Carlini@u-bourgogne.fr, Manon.Ansart@u-bourgogne.fr, Michel.Paindavoine@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ :

De nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine de l'inspection visuelle et la détection de défauts pour étudier les mécanismes cognitifs sous-jacents. Cependant peu d'études se sont concentrées précisément sur l'impact de l'expertise visuelle et ses applications dans des secteurs à risques. Notre étude a pour but de comprendre comment les techniciens experts d'un domaine explorent visuellement du matériel industriel caractéristique d'un secteur à risque[i], afin d'améliorer la compréhension des effets de l'expertise dans ce secteur. Cette démarche permettrait d'améliorer la formation et d'optimiser des postes de travail concernés. Notre étude montre une différence significative entre experts en novices dans la reconnaissance et la détection de la présence (ou non) d'un défaut. Cependant la différence de parcours oculaire entre experts et novices n'est que marginalement significative. Ces résultats suggèrent un effet marginal de l'expertise sur l'exploration visuelle d'image remarquable mais différent de celui décrit dans la littérature.

MOTS-CLES

Ergonomie Cognitive ; Détection de défauts ; Prise de décision ; Expertise ; Analyse du travail

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte de l'Etude

Les systèmes dits « à risques » sont des systèmes dont les conséquences en termes d'incidents ou d'erreurs, pour l'opérateur et pour son environnement, sont impossibles à appréhender du fait de leur ampleur (Amalberti, 1996). Ces systèmes nécessitent donc une surveillance extrême et des évolutions technologiques pour réduire les risques au minimum. Ces mesures et précautions, coordonnées avec l'évolution des technologies, ont poussé ces secteurs vers une forte réduction du nombre d'erreurs de manière générale, aussi bien dans le pilotage d'avion que l'exploitation de l'énergie atomique par exemple. La détection de défaut (i.e. fissure, brûlure, colmatage), est une tâche cruciale dans ces secteurs à risques, et plusieurs études ont investigué les facteurs psychologiques pouvant impacter cette tâche.

1.2. Exploration visuelle de défauts

Les précédentes études sur la détection de défauts alertent sur des risques d'omissions de ces anomalies, allant de 20 à 30% en fonction des individus (Leufkens & al., 2011). Plusieurs études ont été menées visant à identifier les facteurs impactant la détection afin de réduire le nombre d'omissions. Par exemple : le type, la rareté de l'anomalie à observer, la saillance visuelle peuvent entraîner une variation dans la détection visuelle (Wolfe & Horowitz 2005-2017 ; Megaw, 1979).

Plusieurs modèles de l'exploration de défauts ont été développés (i.e. Drury & Chi, 1995), mettant en avant des stratégies variables d'inspection en fonction des caractéristiques des individus.

L'expertise, définie comme la « supériorité des procédures et des performances des experts sur les novices dans un domaine » par Chase et Simon (1973), a également été identifiée comme facteur déterminant dans la compréhension de l'inspection visuelle dans les secteurs à risques. Afin de comprendre les effets de l'expertise, Gegenfurtner et al. (2011) ont publié une méta-analyse regroupant les études d'oculométrie comparant experts et novices dans des tâches d'inspection visuelle. Cette étude fait le constat d'un temps d'inspection visuelle ainsi que des fixations plus longues mais moins nombreuses chez les experts par rapport aux novices sur les zones pertinentes.

En synthèse de ces études, Gegenfurtner et al. (2022) ont proposé une théorie cognitive de l'expertise visuelle, qui développe la façon dont l'expert prélève et traite l'information. Selon cette théorie, l'expert perçoit l'information à partir de l'environnement, tout en intégrant des informations contenues en mémoire à long terme. Dans des tâches d'inspection visuelle, l'expert possède un modèle mental de l'élément à inspecter. Ainsi lors de l'exploration visuelle de cet élément (ou image) il le traitera et inspectera plus rapidement et efficacement en raison des connaissances stockées en mémoire. Ces connaissances vont agir directement sur la représentation de l'élément et donc sur sa facilité à détecter des anomalies, ainsi que sur la façon de prendre de l'information visuellement, en modifiant son parcours oculaire de l'élément par exemple.

Cette théorie semble fournir une explication pertinente et exhaustive des effets de l'expertise sur l'inspection visuelle. Nous avons choisi de vérifier son application dans le domaine de l'inspection visuelle assistée technologiquement. Les études présentées précédemment n'ont pas abordé la question de l'expertise lors d'inspection d'images via le recueil de données avec une technologie récente sur le type de matériel ciblé. C'est ce que propose notre étude. La compréhension des facteurs impactant l'inspection de ces images permettrait d'identifier les besoins, risques et moyens d'amélioration des conditions de travail des techniciens, ce qui constitue une orientation technologique et scientifique indispensable dans les secteurs à risques.

Finalement, à la suite de cette revue nous pouvons formuler la problématique suivante : des différences dans l'efficacité, la représentation de l'image inspectée, ainsi que dans le parcours et les mouvements oculaires sont-elles observables entre novices et experts comme dépeintes dans la bibliographie lors de l'inspection visuelle de défauts sur du matériel industriel dit « à risque » ? Les facteurs relevés dans la bibliographie impactent-ils cette inspection ?

2. MÉTHODE

2.1. Participants

Les 8 participants experts exercent actuellement dans une entreprise employant des techniciens dans un secteur à risque modernisé. Ces experts ont en moyenne 12 ans d'expérience et de pratique dans le domaine et ont suivi une formation adéquate pour exercer en tant que techniciens. Concernant nos sujets novices, les 24 participants sont des étudiants et actifs sans connaissances sur le secteur à risque concerné.

2.2. Matériel

Soixante-trois images réelles représentant des composants industriels (vingt-huit avec défaut, trente-cinq sans) ont été présentées sur écran d'ordinateur (15 pouces, 1920x1080). Les participants ont visualisé ces images sur un ordinateur portable équipé d'un oculomètre Tobii pro-nano, enregistrant les mouvements oculaires avec une fréquence de 60 Hz, et fonctionnant avec les logiciels Tobii Pro Lab et Tobii Pro Eye Tracker Manager.

2.3. Procédure et variables contrôlées

L'expérience s'est déroulée directement sur le site de travail des techniciens pour les sujets experts, et au laboratoire pour les sujets novices. Les deux populations ont signé un formulaire de consentement au préalable de l'étude. Ensuite ils ont renseigné un questionnaire socio-démographique. Un entraînement à la détection a tout d'abord été réalisé, avec une présentation pour les 5 types de défauts possibles. À la suite de cela, pour les deux populations, une soixantaine d'images comportant ou non des défauts ont été présentées. Les estimations orales résultant de l'inspection ont été consignées dans un questionnaire comprenant trois questions relatives à chaque image : la pièce représentée sur l'image comporte-t-elle un défaut ? des zooms/angles de caméra complémentaires sont-ils nécessaires? s'il y a défaut quel est le type du défaut détecté ?). On enregistrait dans le même temps les mouvements oculaires des sujets lors de la présentation de ces images (après calibration). Une fois la classification achevée, nous cessions l'enregistrement oculaire. Les participants n'ont eu aucune pression ou limite temporelle durant l'ensemble de l'expérience.

L'ordre de présentation des images est randomisé. L'exactitude du type de défaut sur chaque image, leur taille et donc la délimitation des zones d'intérêt (AOI) est contrôlée via les observations fournies par les techniciens sur ces mêmes images. Nous avons choisi de présenter le taux de reconnaissance des défauts sur l'élément inspecté, le nombre et les durées (en ms) de fixations visuelles, le temps avant la première fixation sur le défaut (en ms). Ces données sont des indicateurs fiables d'une inspection visuelle experte selon la méta-analyse de Gegenfurtner et al. (2011).

3. RÉSULTATS

Les résultats de notre étude sont présentés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous, comparant 24 novices à 8 experts. Les AOIs ont été délimitées sur chaque image réelle. Elles encadrent l'emplacement des défauts à détecter (pour les images comportant des défauts). Les données oculaires sont enregistrées lorsque le participant concentre son regard sur une zone comportant une anomalie, à chaque fois dans une AOI. Nous avons utilisé des tests non paramétriques (test de Mann-Whitney) pour constater des différences pour chaque variable.

Tableau 1 : Moyennes (μ) et écarts-types (σ) des données recueillies (temps de fixation et temps avant la première fixation en ms, diamètre pupillaire en mm, nombre de fixations en ∑) en fonction de l'expertise. Les colonnes 1 et 2présentent des données recueillies sur toutes les images, tandis que les colonnes 3,4 et 5 présentent des données recueillies lorsque les sujets regardaient les zones comportant un défaut (AOI).

	Données sur l'ensemble des images				Données recueillies sur AOI					
	Temps de fixations		Nombre de fixations		Temps de fixations (AOI)		Nombre de fixations (AOI)		Temps avant la 1ère fixation (AOI)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Experts	302	67,59	61,63	25,2	424,81	159	12,17	6,7	4066,13	1962
Novices	286	42,71	61,03	22,7	364,46	67,7	7,3	1,9	3677,76	1275

Tableau 2 : Moyennes (μ) et écarts-types (σ) des données recueillies (taux de reconnaissance en %, nombre de saccades en ∑) en fonction de l'expertise. La colonne 4 présente des données recueillies sur toutes les images, tandis que la colonne 5 présente des données recueillies lors du regard du sujet sur les AOI uniquement.

	Résultats questionnaires (performance)						∀ images		AOI	
Taux	Rejets corrects		Détection correcte		Fausses alarmes		Nombre de saccades		Nombre de saccades (AOI)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Experts	90,95	4,21	87,5	5,42	7,62	4,3	53,41	25,5	5,26	3,3
Novices	50,13	15,24	77,60	11,36	48,96	18,68	50,6	18,9	2,65	0,9

Ces résultats indiquent une différence significative dans les performances entre experts et novices (détection correcte : U = 30.50, p<.05, r=.538; fausse alarme : U = 2.5, p<.001, r=0.962 ; rejet correct : U = 0, p<.001, r=1), avec une différence marginale dans le parcours oculaire (nombre de saccades sur AOI : U=47.5, p=.037, r=0.505 ; nombre de fixations sur AOI : U = 51, p =.053, r=.469).

4. DISCUSSION

En résumé, nous observons de meilleures performances dans la reconnaissance de présence (p<.05) ou d'absence de défauts (p<.01) (experts > novices), ainsi qu'un plus grand nombre de fausses alarmes chez les novices (p<.01). Concernant les données oculaires, les experts ont effectué un nombre supérieur de saccades (p<.05) sur les zones comportant des défauts, ce qui vient contredire les prédictions de la théorie de l'expertise visuelle (Gegenfurtner et al., 2022). Ces résultats suggèrent ainsi un effet de l'expertise sur l'exploration visuelle d'images de composants industriels à risques.

Pour conclure, ces résultats suggèrent un effet de l'expertise sur l'analyse d'images présentant des composants mécaniques, à la fois dans les parcours oculaires, ainsi que dans la détection de présence ou d'absence de défauts. L'expertise a montré un effet marginal sur le nombre de fixations et significatif sur le nombre de saccades sur les AOI, contrairement aux données recueillies en dehors de l'AOI. Ces résultats nous suggèrent donc que les experts procèdent à une analyse plus élaborée et basée sur leurs connaissances, puisque leurs performances de détection sont meilleures et que leur parcour oculaire diffère sur les zones comportant des défauts sans que ce soit le cas de manière générale.

Ainsi, malgré un entraînement aux différents types de défauts, on peut supposer que les novices effectuent toujours des opérations ascendantes, dans une tâche proche d'une catégorisation. Les résultats suggèrent que les experts s'appuient en partie sur leurs connaissances pour inspecter et procéder à l'analyse visuelle d'images, et que ces connaissances leur permettent de traiter une anomalie de façon plus approfondie et localisée. En raison de la rareté et de la spécificité des experts nécessaire à cette étude, nous n'avons malheureusement pas pu réunir une forte population experte. Néanmoins, nous planifions des passations supplémentaires pour plus de significativité.

En raison du caractère confidentiel de ce projet, nous ne pouvons divulguer ni le type de matériel industriel à risque investigué, ni la technologie employée pour le recueil, ni les entreprises participant à cette étude.

5. BIBLIOGRAPHIE

Amalberti, R. (1996). La conduite de systèmes à risques. Coll. Le Travail Humain. PUF, Paris, 24

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. Cognitive psychology, 4(1), 55-81. Kundel, H. L., & Nodine, C. F. (1975). Interpreting chest radiographs without visual search. Radiology, 116(3), 527-532.

Drury, C. G., & Chi, C. F. (1995). A test of economic models of stopping policy in visual search. IIE transactions, 27(3), 382-393.

Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. Educational psychology review, 23(4), 523-552.

Gegenfurtner, A., Gruber, H., Holzberger, D., Keskin, Ö., Lehtinen, E., Seidel, T., Stürmer, K., & Säljö, R. (2022). Towards a cognitive theory of visual expertise: Methods of inquiry. In C. Damşa, A.

Rajala, G. Ritella, & J. Brouwer (Eds.), Re-theorizing learning and research methods in learning research. Routledge

Leufkens, A. M., Van Oijen, M. G. H., Vleggaar, F. P., & Siersema, P. D. (2012). Factors influencing the miss rate of polyps in a back-to-back colonoscopy study. Endoscopy, 44(05), 470-475.

Megaw, E. D. (1979). Factors affecting visual inspection accuracy. Applied ergonomics, 10(1), 27-32.

Wolfe, J. M., Horowitz, T. S., & Kenner, N. M. (2005). Rare items often missed in visual searches. Nature, 435(7041), 439-440.

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. Nature Human Behaviour, 1(3), 1-8.

CC : *Eye-Interaction : Une étude multimodale de l'incapacitation cognitive chez les pilotes de ligne*

Jonathan Deniel[1], Maud Dupuy[2], Alexandre Duchevet[2], Nadine Matton[2], Jean-Paul Imbert[2], Mickaël Causse[1]

[1] ISAE-SUPAERO, Université de Toulouse, Toulouse, France

jonathan.deniel@isae-supaero.fr ;mickael.causse@ isae-supaero.fr

[2] ENAC, Université de Toulouse, Toulouse, France

maud.dupuy@enac.fr ; alexandre.duchevet@enac.fr ; nadine.matton@enac.fr ;

jean-paul.imbert@enac.fr

RÉSUMÉ

En aviation civile, l'incapacitation cognitive désigne l'altération temporaire des facultés cognitives du pilote en réaction à un contexte de stress intense. Elle se traduit par des phénomènes variés tels que la persévération cognitive, des actions de pilotage risquées, etc. Il apparaît important de mieux comprendre l'émergence de l'incapacitation cognitive afin de pouvoir l'anticiper, la détecter, et la traiter. Cette communication fait état d'une expérimentation en cours visant à identifier des marqueurs physiologiques, comportementaux et de personnalité possiblement associés à l'incapacitation cognitive. Pour cela, des pilotes réalisent des tests de personnalité et des tâches cognitives avec manipulation de la charge mentale. Ils réalisent ensuite une session de pilotage en simulateur de vol mettant en scène des évènements intenses et surprenants pouvant générer un sursaut (startle reflex en anglais). Les résultats préliminaires montrent que la majorité des pilotes a eu un réflexe de sursaut suite à un stimulus intense (fort bruit de tonnerre). L'impact sur la performance de pilotage est en cours d'analyse.

MOTS-CLÉS

Pilotage, Stress, Surprise, Sursaut, Incapacitation Cognitive

1. INTRODUCTION

L'incapacitation cognitive (également appelée incapacitation mentale) englobe des états mentaux particuliers pouvant survenir chez les pilotes d'avion en situation de stress intense. Contrairement à l'incapacitation médicale (par exemple, l'évanouissement, le malaise cardiaque, la perte de conscience, etc.), l'incapacitation cognitive fait référence à des déficiences cognitives temporaires pouvant résulter de différents phénomènes tels que la surcharge cognitive (Durantin et al., 2014), le stress aigu (Dismukes et al., 2015, Vine et al., 2015), des événements inattendus comme un coup de tonnerre (Kinney and O'Hare, 2020), ou encore des situations ayant une dimension effrayante (Martin et al. 2016). L'incapacitation cognitive consécutive aux effets de surprise et de sursaut a par ailleurs été reconnue comme un facteur contributif dans plusieurs incidents (FBU711, BEA, 2020)[22] et accidents (AF 447, BEA, juin 2012)[23]. Par conséquent, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI, 2012), ainsi que l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AESA, 2015) et l'Administration Fédérale de l'Aviation (FAA, 2015) ont appelé au développement de formations dédiées à l'amélioration de la gestion de ce phénomène par les pilotes. Pour cela, il est intéressant de développer des méthodes permettant de détecter ces états mentaux préjudiciables ainsi que

[22] https://bea.aero/fileadmin/user_upload/BEA2020-0065.en.pdf

[23] https://bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf

d'identifier les susceptibilités individuelles à l'incapacitation cognitive comme les traits de personnalité, l'anxiété ou la capacité à gérer la charge mentale. À cette fin, nous avons développé un protocole expérimental en deux phases consistant en (1) une session de tests de personnalité et de tâches cognitives suivis par (2) une session de simulateur de vol mettant en œuvre un scénario complexe, avec un stimulus « sursaut » visant à produire un effet de surprise et de sursaut par son caractère inattendu et intense (fort bruit d'éclair). Des données physiologiques, comportementales et subjectives sont collectées tout au long du scénario.

2. HYPOTHESES

Nous testerons l'hypothèse H1 selon laquelle la susceptibilité à l'incapacitation cognitive après un évènement stressant pourrait fortement varier selon les individus, et que cela pourrait être détecté par différents indices subjectifs, comportementaux, et physiologiques. Ainsi, une plus forte anxiété (H1a), une plus faible compétence en régulation émotionnelle (H1b) ou une moins bonne gestion de la charge mentale (H1c) pourraient être associées à une diminution de la gestion du stimulus sursaut et des performances lors des sessions de simulateur de vol (i.e., scénario complexe et surprenant). Nous avons également testé l'hypothèse (H2) que les participants démontrant un réflexe de sursaut (après le stimulus sursaut) pourraient avoir des performances de vol plus dégradées, en particulier lorsque celui-ci était intense. Nous présentons ici les résultats préliminaires qui démontrent l'efficacité du protocole à éliciter un sursaut. Les résultats définitifs relatifs aux hypothèses feront l'objet d'une publication ultérieure. A titre exploratoire nous évaluerons l'association des données de performance aux données oculométriques et cardiaques.

3. METHODE

Pour tester ces hypothèses, un protocole en deux phases est en cours. La première phase expérimentale comprend des tests évaluant le stress perçu, l'anxiété, la réactivité, et la régulation émotionnelle [i.e., Multidimensional Emotion Questionnaire (Klonsky et al., 2019), Big Five Personality Inventory (Courtois et al., 2020), State Anxiety Inventory – Trait (Spielberger, 1983), et le Perceived Stress Scale (Cohen et al., 1983)] ainsi que la consommation de substances, la durée du sommeil et l'activité physique au cours des dernières 24 heures. Puis les participants réalisent trois tâches cognitives et psychomotrices présentées dans un ordre contrebalancé. Chaque participant est préalablement équipé d'un électrocardiogramme portable (faros 360) et ses mouvements oculaires sont enregistrés via un dispositif d'eye-tracking (Tobii Spectrum). La première tâche, dite tâche de gestion des priorités, est utilisée dans le processus de sélection des candidats pilotes de l'ENAC. Elle implique l'engagement du participant dans quatre sous-tâches simultanées : surveillance, suivi, détection et calcul (Matton et al., 2016). La seconde tâche, la Toulouse N-back Task, consiste en la combinaison d'une tâche classique de type n-back avec des opérations arithmétiques. Elle a été conçue spécifiquement pour être extrêmement difficile, et plutôt à destination d'opérateurs tels que les pilotes ou les contrôleurs aériens (Causse et al., 2017). Deux niveaux de difficulté, 0-back et 2-back, sont présentés de manière aléatoire au participant lors de cette tâche. La troisième tâche cognitive est une version open-source et actualisée de la Multi-Attribute Task Battery (OpenMATB) (Cegarra et al., 2020 ; Comstock et al., 1992). Cette tâche consiste à effectuer quatre sous-tâches simultanées : surveillance, suivi, communication auditive et gestion des ressources.

La seconde phase expérimentale consiste à réaliser un scénario dans un simulateur de vol A320. Les participants sont équipés d'un oculomètre portable (TOBII Glasses 2), d'un ECG portable (faros 360) et d'un dispositif d'électromyographie (Biopac MP 150) pour mesurer l'activité du muscle sterno-cléido-mastoïdien. En effet, ce dernier se contracte lors de la survenance d'un réflexe de sursaut (Truong et al., 2022). De plus, l'ensemble de la simulation est enregistrée au moyen d'une caméra

placée face au participant. Deux chercheurs analysent ces vidéos de « vérité terrain » pour déterminer la survenue et l'intensité du sursaut et de la réaction de surprise (Ekman et al., 1985).

Figure 1. Illustration du simulateur en conditions nominales (gauche) et en condition sursaut (startle reflex) (droite). Le flash lumineux matérialisant l'éclair est visible sur la photo de droite.

Dans un premier temps, les participants sont invités à se familiariser avec le simulateur de vol (Fig. 1.) en effectuant un scénario d'entraînement. Il consiste en un atterrissage manuel sur l'aéroport d'Orly dans des conditions nominales. Puis les participants sont briefés pour un scénario d'atterrissage en conditions de vol aux instruments (mauvaise visibilité). Par ailleurs, un orage leur est signalé au nord de l'aéroport. Ce scénario commence par un circuit d'attente avant atterrissage (holding pattern) de quelques minutes au cours duquel un avertissement de faible niveau de carburant est déclenché. Cet évènement a pour but de pousser les participants à demander un atterrissage prioritaire qui leur est immédiatement accordé. Peu après, le copilote (pilot monitoring), joué par un complice, se déclare en incapacité totale d'assurer ses fonctions. Cet évènement a pour but d'augmenter la charge mentale du participant qui doit se préparer à effectuer l'atterrissage seul. Quelques instants plus tard, un foudroiement de l'appareil est simulé par un flash et un fort bruit de tonnerre (environ 90db). Ce stimulus intense et soudain a pour but de provoquer le sursaut du participant, il est suivi quelques secondes plus tard d'une panne électrique d'urgence (Emergency Electrical Configuration). Cette panne provoque la disparition de la plupart des interfaces affichées sur les écrans ainsi que la désactivation brutale du pilote automatique et de l'auto-manette. La situation oblige donc le participant à se poser manuellement sans la plupart des assistances et des interfaces. Les actions du participant sur les commandes ainsi que les paramètres de vol sont enregistrés. Afin de pouvoir établir une comparaison des performances et des paramètres physiologiques du participant à une référence, un autre scénario nominal dans les même conditions météorologiques (sans évènements particuliers) d'atterrissage à Orly est réalisé avant ou après le scénario surprenant. Enfin, un débriefing composé de questions ouvertes, de test de personnalité et d'évaluation de la charge mentale est organisé afin de recueillir l'expérience des participants et de fournir un retour structuré sur les objectifs de la recherche.

4. RESULTATS PRELIMINAIRES ET DISCUSSION

À ce jour 7 élèves pilotes (âge moyen = 21 ans, ET = 1,07 ans*)* ont été impliqués dans le protocole de recherche. Nos résultats préliminaires confirment que le protocole satisfait aux objectifs de l'étude. Tout d'abord, les évaluations subjectives montrent qu'un nombre élevé de participants déclare avoir sursauté en entendant le bruit du tonnerre. En effet, l'analyse des vidéos montrent que 57% d'entre eux ont présenté un réflexe de sursaut (4 participants), avec toutefois des variations inter-individuelles dans l'intensité de la réaction. Certains ont eu une forte réaction (2 participants) tandis que d'autres n'ont fait que cligner des yeux ou ont eu des expressions faciales de sursaut minimes mais néanmoins typiques (2 participants). Cette variation de la sensibilité au réflexe de sursaut sera explorée plus en profondeur en comparant les résultats de la phase 1 à ceux de la phase 2. Ensuite, nous notons que les tâches cognitives de la phase 1 semblent être cohérentes avec la tâche de vol concernant le niveau de charge de travail mentale, du moins pour les deux environnements multitâches (TGP et OpenMATB). Cela confirme l'idée que les tests de laboratoire peuvent fournir des indications

précieuses sur le comportement, notamment du point de vue de la gestion de tâches complexes. Enfin, les évaluations de personnalité des 7 pilotes impliqués indiquent des niveaux de stress plus faibles, un niveau de conscienciosité plus élevé et un niveau de neuroticisme plus faible par rapport à la population générale (Courtois et al., 2020). Ces résultats sont en accord avec la spécificité recherchée du profil psychologique des pilotes, qui sont sélectionnés sur la base de traits de personnalité connus pour être avantageux pour la gestion des situations stressantes (Mesarosova, 2018).

Notre prochaine étape est d'étudier l'impact de ces traits de personnalité sur la gestion du réflexe de sursaut, qui est un aspect crucial de cette recherche. À l'issue de l'acquisition des données pour la totalité des participants, les résultats seront explorés plus en profondeur et mis en lien avec les paramètres physiologiques cardiaques et oculométriques.

5. CONCLUSION

Le présent projet s'inscrit dans le cadre des recommandations internationales actuelles sur l'effet de sursaut et la gestion de la surprise et devrait permettre, d'une part, de proposer un scénario de simulateur de vol intégrable dans les programmes de formation des pilotes et, d'autre part, d'identifier certains précurseurs, déclencheurs et marqueurs de l'incapacitation cognitive.

6. BIBLIOGRAPHIE

Durantin, G., Gagnon, J. F., Tremblay, S., & Dehais, F. (2014). Using near infrared spectroscopy and heart rate variability to detect mental overload. *Behavioural brain research*, *259*, 16-23.

Dismukes, R., Goldsmith, T. E., & Kochan, J. A. (2015). Effects of acute stress on aircrew performance: literature review and analysis of operational aspects.

Vine, S. J., Uiga, L., Lavric, A., Moore, L. J., Tsaneva-Atanasova, K., & Wilson, M. R. (2015). Individual reactions to stress predict performance during a critical aviation incident. *Anxiety, Stress, & Coping*, *28*(4), 467-477.

Kinney, L., & O'Hare, D. (2020). Responding to an Unexpected In-Flight Event: Physiological Arousal, Information Processing, and Performance. Human Factors, 62(5), 737–750

Martin, W. L., Murray, P.S., Bates, P. R., Lee, P.S.Y. (2015) Fear-Potentiated Startle: A Review from an Aviation Perspective, The International Journal of Aviation Psychology, 25:2, 97-107.

ICAO Doc 8984 "Manual of Civil Aviation Medicine", third edition (2012).

Klonsky, E. D., Victor, S. E., Hibbert, A. S., & Hajcak, G. (2019). The multidimensional emotion questionnaire (MEQ): Rationale and initial psychometric properties. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, *41*, 409-424.

Courtois, R., Petot J.M, Plaisant, O., Allibe, B., Lignier, B. Réveillère, C., Lecocq, G. and John, O. (2020). "Validation française du Big Five Inventory à 10 items (BFI-10)." L'Encéphale 46, no. 6, 455-462.

Spielberger, C. D. (1983). State-trait anxiety inventory for adults.

Cohen, S., Kamarck, T., and Mermelstein, R. (1983). "A Global Measure of Perceived Stress." Journal of Health and Social Behavior 24, no. 4 (1983): 385–96.

Matton, N., Paubel, P., Cegarra, J., & Raufaste, E. (2016), Differences in multitask resource reallocation after change in task values. Human factors, 58(8), 1128-1142.

Causse, M., Peysakhovich, V., & Mandrick, K. (2017). Eliciting sustained mental effort using the Toulouse N-back Task: prefrontal cortex and pupillary responses. In Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on

Neuroergonomics and Cognitive Engineering, July 27-31, 2016, Walt Disney World®, Florida, USA (pp. 185-193). Springer International Publishing.

Cegarra, J., B. Valéry, Eugénie Avril, C. Calmettes, and J. Navarro. (2020), "OpenMATB: A Multi-Attribute Task Battery promoting task customization, software extensibility and experiment replicability." Behavior research methods 52. 1980-1990.

Comstock Jr, J. R. & Arnegard, R. J., (1992) The multi-attribute task battery for human operator workload and strategic behavior research. (NASA-TM-104174). Washington: National Aeronautics and Space Administration.

Truong, T. E., Luttmer, N. G., Eshete, E. R., Zaki, A. B., Greer, D. D., Hirschi, T. J., Stewart, B.R., Gregory, C.A., Minor, M. A. (2022). Evaluating the Effect of Multi-Sensory Stimulation on Startle Response Using the Virtual Reality Locomotion Interface MS. TPAWT. In *Virtual Worlds* (Vol. 1, No. 1, pp. 62-81). MDPI.

Ekman, P., Friesen, W. V., & Simons, R. C. (1985). Is the startle reaction an emotion?. *Journal of personality and social psychology*, *49*(5), 1416.

Mesarosova, K., Siegling, A. B., Plouffe, R. A., Saklofske, D. H., Smith, M. M., & Tremblay, P. F., (2018) “Personality measurement and profile in a European sample of civil airline pilots”. European Journal of Psychological Assessment.

2 Communications Longues (= CL) et

3 Communications Courtes (= CC)

CL : *Equipes autonomes et RPS : l'apport de la psycho-ergonomie pour la prévention.*

Corinne Van De Weerdt & Raphaël Haller

INRS, Département Homme au Travail, Laboratoire Ergonomie et Psychologie Appliquées à la Prévention, 54500 Vandœuvre-Lès-Nancy

corinne.vandeweerdt@inrs.fr; raphael.haller@inrs.fr

RÉSUMÉ

Dans un contexte où de nouvelles formes de travail se développent, on voit apparaître des transformations organisationnelles dans de nombreux secteurs d'activité. Celui de l'aide à domicile est particulièrement concerné, avec l'arrivée en force du modèle d'équipes autonomes, adopté par de nombreuses structures. L'autonomie offre en effet l'espoir de solutions face aux difficultés souvent rencontrées dans ce secteur : turn-over, absentéisme, sinistralité élevés. Elle semble pouvoir favoriser l'activité, grâce notamment à des prises de décision plus directes nécessitant moins d'intermédiaires, et une gestion individuelle et collective des risques mieux maîtrisées. Or, cette forme d'organisation peut aussi générer plus de tensions et des pressions au sein des équipes. Nous montrons, à partir d'une étude menée en entreprise, comment les méthodes psycho-ergonomiques peuvent amener à saisir l'activité des salariés dans un contexte de transformation organisationnelle, anticiper les changements, et prévenir l'émergence de risques, notamment psycho-sociaux.

MOTS-CLÉS

Changement organisationnel, Equipes autonomes, Nouvelles formes d'organisation, Prévention, Risques psycho-sociaux.

1. INTRODUCTION

Les formes d'emploi se diversifient pour évoluer vers des statuts alternatifs au modèle du salariat traditionnel (reliant un salarié à un employeur par la signature d'un contrat de travail), faisant place entre autres à l'intraprenariat, au portage salarial, ou encore au travail en temps partagé (Luc & Le Saget, 2013 ; Karsenty, 2019 ; Richard & al., 2020 ; Boullier & Ruffier, 2021). De nouvelles formes de travail surgissent, rompant avec les organisations classiques (tayloriennes, hiérarchiques, bureaucratiques) évoluant vers des formes plus démocratiques et horizontales. Cela s'explique par une volonté de se renouveler, se réinventer, expérimenter, innover, mais aussi par un besoin de trouver des solutions organisationnelles pour faire face à des difficultés de fonctionnement qu'une organisation classique ne permet pas ou plus de résoudre. Ces nouvelles formes peuvent avoir des conséquences en termes de santé sur de nombreux travailleurs directement concernés.

Dans le contexte actuel où de nouvelles formes de travail apparaissent, et en particulier celles qui tendent vers l'autonomie, il peut s'opérer une transformation de la relation de subordination (Pereira, 2018 ; Prévot-Carpentier & Van De Weerdt, 2019). Les opérateurs inscrits dans ces formes d'organisation voient leur marge de manœuvre évoluer et leur activité changer. C'est particulièrement le cas pour le modèle des équipes autonomes (Abraham, 2005 ; Hess, 2015 ; Van De Weerdt, 2021). Ce modèle est d'ailleurs tellement prisé, qu'il a tendance à se généraliser dans certains secteurs ; on le voit se répandre dans les structures de soins à domicile, et de façon plus récente, d'aide à domicile (Gray & al., 2015 ; Chevalier, 2021).

L'autonomie telle qu'elle est considérée ici fait référence à un système de self-management intra-équipe, centré sur un métier, orienté vers un objectif professionnel commun, et dont l'organisation de la gestion de l'activité repose sur une répartition de rôles entre membres d'équipes (Devillard, 2017). Cette autonomie est à la fois individuelle car en lien avec chaque rôle attribué, mais aussi collective puisque propre à une équipe (Cristofalo & Petit dit Dariel, 2021). L'autonomie d'une équipe dépend de son niveau de maturité et s'acquiert progressivement, jusqu'à une certaine indépendance, selon un processus temporel dont Devillard (2017) a décrit les différents stades.

Dans le secteur tertiaire, la recherche d'autonomie au sein des équipes, promue par les dirigeants, est généralement liée au fait qu'ils y voient un moyen de faire intervenir les salariés de façon directe sur les situations de travail, d'opérer dans des zones géographiques plus restreintes, de réguler plus facilement les difficultés entre membres d'équipe qui se connaissent, et de privilégier la relation salariés-bénéficiaires (Drennan & al., 2018 ; Guiny, 2020 ; Dupuis, 2020 ; Venne, 2022). Plusieurs modèles s'inscrivent dans ce schéma. Le principe « Buurtzorg » en est une représentation particulièrement illustrative (Lalani & al., 2019 ; Hegedüs, Schürch & Bischofberger, 2021 ; Cristofalo & Petit dit Dariel, 2021). Il vise la création d'équipes autonomes dans les services à la personne et le délaissement du système hiérarchique classique. Inspiré des Pays-Bas, ce modèle s'implante dans de nombreux pays d'Europe. 24 pays européens sont dénombrés aujourd'hui.

Ce principe interroge néanmoins les conditions de travail et leurs effets sur la santé (Van De Weerdt, 2016, 2017). Des questions d'ordre psycho-ergonomique émergent en lien avec la mise en place de ces équipes autogérées. On peut se demander si du point de vue des salariés, cette organisation contribue à faciliter la réalisation de l'activité (Avril, 2006 ; Cristofalo, Petit dit Dariel & Minvielle, 2019 ; Van De Weerdt, 2018, 2021). Permet-elle l'acquisition de nouvelles compétences, et ce, dans de bonnes conditions ? Favorise-t-elle la coordination, voire la coopération entre les membres d'équipes ? Conduit-elle à maintenir ou à faire émerger un bon climat social ? Amène-t-elle à un épanouissement au travail ? Ou au contraire, génère-t-elle du stress, voire de l'épuisement ? L'étude psycho-ergonomique longitudinale présentée avait pour objectif d'y répondre. De plus, une question de prévention se pose : les salariés engagés dans cette nouvelle forme de travail sont-ils exposés à de nouveaux risques professionnels ? Le cas échéant, la prévention telle qu'elle est gérée aujourd'hui est-elle adaptée à ces nouveaux risques ?

Notre communication porte sur une étude consacrée aux risques associés à l'activité des salariés dans une entreprise d'aide à domicile, principalement psycho-sociaux. Jusqu'à présent, cette question a peu été travaillée du point de vue du travail réel (Van De Weerdt, 2016, 2018). Tout en étudiant le contexte de transformation, nous avons analysé l'activité et les régulations intra-équipe en œuvre, et les contraintes nouvelles générées par le changement organisationnel, en identifiant les exigences s'exerçant et les tensions naissantes. La présentation de cette étude nous amènera à dégager les éléments et enjeux que la mise en application de méthodes psycho-ergonomiques permet de révéler.

2. SITUATION ET METHODES

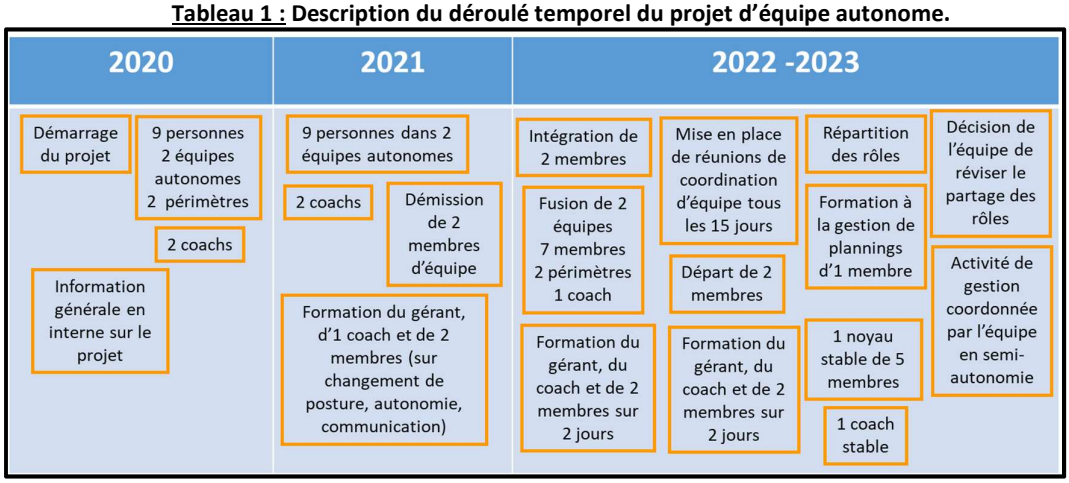
2.1. Terrain

L'entreprise d'aide à domicile explorée est située dans la région Grand Est et emploie environ 70 personnes. Créée il y a plus de 10 ans, elle effectue essentiellement des activités d'assistance à la personne, mais réalise aussi des activités d'entretien des logements, livraison de repas, accompagnement véhiculé, jardinage et bricolage, assistance administrative et informatique, installation de téléassistance, etc. L'équipe administrative se compose de 8 personnes : 3 responsables de l'action sociale dont 1 étant aussi coordinatrice de l'agence, 3 assistantes administratives et 3 assistantes en Ressources Humaines. Le nombre d'intervenants à domicile est d'environ 60.

L'entreprise connaît un taux de croissance annuel constant de 9 à 10%. Elle diversifie ses prestations grâce à des projets innovants tournés vers le développement des offres de service aux actifs et aux personnes vulnérables. Si la gestion de l'entreprise rencontre certaines difficultés, cela s'explique par des raisons très largement rencontrées au niveau national : la demande étant supérieure à l'offre, les difficultés se situent essentiellement au niveau du recrutement de nouveaux intervenants à domicile et à la fidélisation des employés.

L'adoption du modèle d'équipes autonomes, et plus précisément du principe Buurtzorg, a vu le jour dans l'entreprise il y a environ 3 ans (tableau 1). Plusieurs raisons ont motivé ce choix : la recherche de valorisation du métier, d'augmentation des marges de manœuvre, d'attractivité pour le métier, d'engagement dans l'emploi, de bien-être et d'épanouissement, et de recentration des missions des cadres sur des activités de ressources humaines et financières, en lien avec la politique économico-sociale du secteur.

Tableau 1 : Description du déroulé temporel du projet d'équipe autonome.



2.2. Méthodologie

L'étude a démarré il y a plus de deux ans (en juillet 2020) et se poursuit afin de continuer à évaluer le processus de transformation organisationnelle sur le long terme à des fins préventives. Elle comporte donc un caractère longitudinal, analysant le processus d'évolution de l'entreprise (tableau 1) passant d'un modèle « classique » hiérarchique à un modèle d'équipes autonomes accompagnées par une personne support appelée « coach ».

La méthodologie repose sur une triangulation de méthodes (tableau 2) intégrant des données provenant de sources multiples qui ont été croisées. Ce recueil a été mené au moyen d'entretiens (exploratoires et semi-directifs), d'observations de l'activité d'intervenants aux domiciles de bénéficiaires de l'aide, de réunions de coordinations d'équipe, et de réunions de débriefing. Un accord oral et écrit a été obtenu avant le recueil des données auprès de la direction, des salariés et des bénéficiaires. Certaines observations ont pu être filmées et d'autres l'ont été au moyen de grilles d'observations préalablement préparées.

Tableau 2 : Etapes et détail de la méthodologie employée selon la chronologie de l'étude.

	DETAIL DE LA METHODE	DATE
ETAPE 1: Pré-étude	- 2 visites de l'entreprise - 4 rencontres sur site avec le personnel pour s'imprégner de la culture d'entreprise - 4 analyses de documents - 2 entretiens individuels exploratoires avec le directeur - 1 entretien individuel exploratoire avec la responsable de l'action sociale et coordinatrice de l'agence - 11 entretiens individuels avec des acteurs extérieurs chargés de conseiller l'entreprise sur un plan économique et social et sur celui des conditions de travail, ou de former le personnel au principe Buurtzorg et à l'utilisation des méthodes et outils consacrés à	juillet 2020 à juin 2021

	l'autonomie des équipes - préparation de l'intervention sur le terrain - communication en interne sur les objectifs et les étapes de l'étude - communication sur l'étude en interne	
ETAPE 2 : Etude des représentations du changement au démarrage et en cours de projet	- observation d'une séance de sensibilisation de l'entreprise au principe Buurtzorg par un organisme extérieur et recueil de verbalisations concernant les représentations des participants - observation d'une séance de formation des membres de la future équipe autonome par un organisme extérieur et recueil de verbalisations concernant les représentations des participants - 8 entretiens individuels semi-directifs avec 8 aides à domicile - 8 entretiens individuels semi-directifs avec 8 administratifs - 1 entretien semi-directif avec le directeur - 1 restitution de résultats intermédiaires à la direction en cours de projet sur les représentations	juin 2021 à février 2022
ETAPE 3 : Analyse de l'activité à domicile et en réunion de coordination d'équipe autonome	- 13 observations de l'activité réelle chez des bénéficiaires correspondant au suivi de l'activité de 2 aides à domicile en continu sur une période de 2 jours de travail (1 jour chacun) avec prise de notes et enregistrement vidéo quand cela était accepté - 8 enregistrements vidéo de l'activité réelle de 2 aides à domicile - montage de séquences vidéo pré-sélectionnées en vue de leur utilisation en réunions de débriefing - 3 observations de 3 réunions de coordination d'équipe autonome avec la participation des membres de l'équipe et du coach (2 réunions animées par le coach et 1 réunion animée par l'équipe) - 2 enregistrements vidéo des réunions de coordination d'équipe autonome - 1 restitution de résultats intermédiaires à la direction en cours de projet sur l'activité réelle à domicile et les réunions de coordination d'équipe autonome	mars 2022 à février 2023
ETAPE 4 : Réflexion collective sur les RPS et les pistes de prévention	- préparation des séances de débriefing collectif avec la participation des membres de l'équipe autonome à partir de la diffusion de supports vidéo (montage de séquences pré-selectionnées enregistrées sur le travail réel à domicile et sur les réunions de coordination de l'équipe) - programmation des séances co-construction d'un plan d'action de prévention avec la participation de la direction, de l'équipe autonome, du coach	février 2023 -

Les étapes séquentielles relatives à ce recueil de données suivent globalement les phases d'implantation du projet dans l'entreprise (tableau 1). La méthodologie, construite spécifiquement pour mener cette étude, se compose de 4 étapes détaillées dans le tableau suivant (tableau 2).

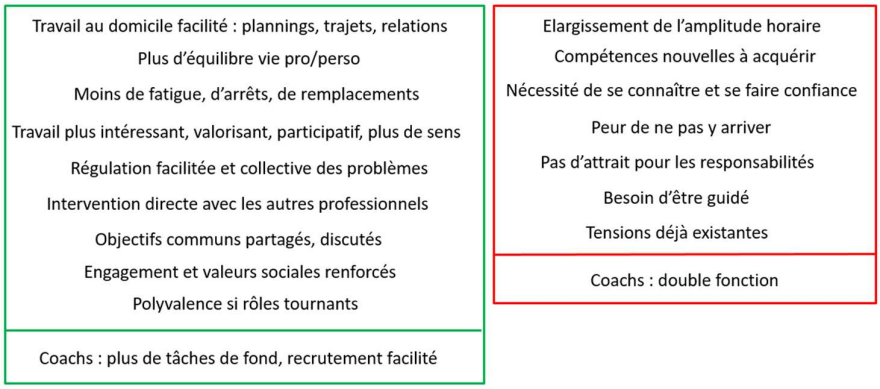
Il est à noter que tous les membres d'équipe autonome ont été rencontrés et interrogés (en entretien, réunion d'équipe, et/ou séances post-réunion), y compris les personnes ayant quitté l'équipe autonome à un moment donné. Toutes les personnes de l'équipe administrative ont été interrogées en entretien, c'est-à-dire le coach de l'équipe autonome mais également les personnes gérant l'activité des aides à domicile dans l'organisation traditionnelle. Il nous est apparu en effet important de rencontrer des acteurs directement impliqués dans le modèle autonome, mais aussi d'autres personnels occupant une position « satellite ».

Les différentes phases se sont succédées mais des itérations ont été également appliquées pour adapter la méthode à la réalité de l'implantation du principe d'équipes autonomes. Les entretiens ont fait l'objet d'une analyse de contenu thématique destinée à dégager les représentations des salariés sur la transformation de l'organisation. Nous les avons analysés et catégorisés pour dégager les améliorations et les dégradations perçues. Les analyses du travail réel à domicile et en réunion de coordination ont été réalisées à partir de chroniques d'activité pour isoler les déterminants techniques et organisationnels de l'activité, les contraintes de travail et les stratégies en œuvre pour y faire face.

3. RESULTATS

3.1. Une transformation générant des espoirs et des craintes

Les analyses des représentations du personnel, issues des entretiens réalisés en début de projet (soit en 2021), montrent que les salariés percevaient un certain nombre d'éléments positifs liés à la transformation de l'organisation en équipes autonomes, procurant de l'espoir vers une amélioration des conditions de travail, mais aussi quelques aspects négatifs nourrissant des craintes (figure 1). Les résultats issus de ces analyses correspondent à des projections puisqu'en 2021 la mise en place du projet n'était qu'amorcé.



<u>Figure 1 :</u> Perception des améliorations (dans le cadre situé à gauche) et des dégradations (dans le cadre situé à droite) des conditions de travail pour les aides à domicile (cadres supérieurs) et les coachs (cadres inférieurs) en lien avec la mise en place des équipes autonomes.

Il ressort de ces analyses que globalement, les éléments positifs perçus sont relatifs à une facilitation de l'activité et à un renforcement de l'engagement.

Pour les intervenants de terrain, le travail à domicile est imaginé comme pouvant être amélioré au niveau des plannings et des trajets, car ils devraient être optimisés. Cette gestion au sein d'une petite équipe mènerait à une meilleure adaptation des tournées, en tenant compte des besoins réels des salariés et des bénéficiaires. Les relations aidants-aidés en seraient également améliorées. Le rapport entre la vie professionnelle et la vie personnelle, du fait de ces optimisations, serait plus équilibré, et limiterait la fatigue, les arrêts de travail et par conséquent les besoins de remplacements du personnel absent. Des régulations collectives viendraient compléter celles qui sont, à l'heure actuelle, quasi-exclusivement individuelle. Le nombre d'intermédiaires diminuant puisque les prises de décisions deviendraient plus directes, on assisterait, selon les aides à domicile, à plus de possibilités de régulation, de coopération, une meilleure coordination, mais aussi plus d'engagement personnel et collectif. Si les objectifs sont partagés entre les intervenants, les valeurs sociales seront renforcées. La polyvalence liée à l'attribution des rôles de gestion entre les membres d'équipe est perçue a priori comme positive.

Les craintes exprimées portent de façon globale sur le surinvestissement prévisible et les tensions pouvant naître.

Les aides à domicile motivés par le changement prévoient une nécessité de travailler d'autant plus, y compris dans des temps « cachés », pour acquérir les nouvelles compétences nécessaires. Si le travail de gestion s'ajoute aux missions, il devra être réalisé tout en assurant le nombre prévu de prestations à domicile. En outre, les relations intra-équipe pourraient devenir tendues si la confiance n'était pas unanime entre les membres, et si la légitimité des référents à qui les rôles ont été confiés n'était pas entièrement reconnue. Pour acquérir cette confiance mutuelle et cette légitimité, une condition nécessaire est celle de disposer de temps pour se connaître. Les salariés intervenant de façon

isolée aux domiciles, ne se connaissent pas tous, et encore moins sur un plan professionnel. Une répartition équitable des rôles, des tâches et des responsabilités est perçue comme nécessaire, sans quoi toute forme de disparité pourrait créer des tensions jusqu'à du stress.

En ce qui concerne les encadrants, ceux-ci perçoivent positivement le fait de pouvoir dégager du temps pour réaliser des missions de fond, relatives à l'action sociale, au recrutement, à la formation, à la mise en place d'ateliers pour les bénéficiaires, à l'optimisation des conditions de travail, etc. La gestion actuelle des interventions à domicile leur prend du temps et les encadrants considèrent que les membres d'équipe seront plus à même de gérer directement (sans intermédiaires) les aléas et difficultés. La régulation de l'activité en sera facilitée, tout en garantissant la continuité de service.

Les difficultés qu'ils perçoivent portent sur la complexité à assurer deux rôles en parallèle dans la phase de transition. De plus, pour certains, ces deux rôles seront maintenus puisqu'ils encadreront des salariés évoluant en organisation hiérarchique classique tout en accompagnant des membres d'équipes autonomes. Ceci suppose un changement de posture constant, selon leurs interlocuteurs, mission qui peut s'avérer intense, complexe et perturbatrice de la continuité de l'activité.

3.2. Une relation aux bénéficiaires modifiée

Les analyses du travail réel des aides à domicile montrent que le travail en équipe autonome change peu l'activité physique, mais modifie son aspect relationnel. Un premier élément concerne le fait que désormais les membres de l'équipe expliquent aux bénéficiaires les contraintes de réalisation des plannings. Ceci a pour conséquence une baisse des exigences de la part des bénéficiaires. Par exemple, un salarié explique que : « *maintenant on dit aux personnes que c'est pas facile de prévoir, et que si le planning est celui-ci c'est parce que c'est impossible de faire autrement. Et ça va beaucoup mieux. Quand c'est compris c'est beaucoup mieux accepté par les personnes.* ». Un autre élément concerne le fait d'avoir moins d'appels intermédiaires à donner : « *l'exemple typique c'est chez M. R., encore ce matin, j'ai pu appeler directement, et comme ça, je ne me suis pas déplacé pour rien. J'en avais tellement marre d'appeler l'agence pour qu'ils appellent, et qu'on me rappelle après. »*

3.3. Une activité de coordination d'équipe opérationnelle mais source de risques psycho-sociaux

Les analyses de l'activité de coordination de l'équipe autonome révèlent une progression à différents niveaux : un maintien régulier du cadre d'expression, une coordination aboutissant à un partage des décisions, un renforcement de l'identité collective, un début de coopération intra-équipe, des initiatives organisationnelles discutées, des débats sur le contenu du travail à domicile (tableau 3).

Tableau 3 : Progression de l'équipe autonome sur le plan de la coordination et verbatims associés.

1)	**L'équipe décide de ses propres règles et les met en œuvre**. Par exemple, après plusieurs tentatives de choix du nom d'équipe, une décision a été adoptée par tous : « *si la majorité choisit une option, et qu'elle est supportable pour les autres, c'est cette option qui est adoptée* ». Cette règle a été appliquée pour le nom de l'équipe. Cet exemple montre une expression libre au sein du groupe et un partage des décisions.
2)	**Les membres expriment leurs souhaits de prise de charge de nouveaux rôles et les soumet au groupe qui procède au vote.** Par exemple, un membre propose : « *je voudrais participer aux entretiens de recrutement, et même travailler là-dessus* », entraînant cette réponse par un autre membre : « *Ah ben oui, carrément !* ». Cet extrait montre que la coordination devient opérationnelle, dans le sens de Devillard (2017) qui considère que la coordination repose sur le respect du territoire de chacun, en offrant temps, recul et sérénité pour en dessiner les contours et se concentrer sur le résultat à transmettre aux autres.
3)	**L'équipe a décidé de lister ses avancées en termes d'autonomie et de célébrer ses victoires.** Ceci a pour but une meilleure prise de conscience des aspects positifs du changement, la création d'un sentiment de fierté partagé vis-à-vis de de ce qui a été accompli dans et par l'équipe.
4)	**Le groupe co-construit ses règles en fonction de son expérience.** Par exemple, la gestion des plannings a d'abord été attribuée à 1 personne, puis à 1 titulaire et à 1 suppléant, puis à 2 personnes titulaires. Celles-ci ont travaillé de concert et ont partagé les plannings à l'ensemble de l'équipe pour récolter avis et désirs d'aménagement. Enfin, il a été décidé par l'équipe de scinder cette mission pour qu'1 personne dédiée se consacre à la période de la semaine et l'autre à celle des astreintes et des week-ends. Un début de

coopération voit le jour, telle que Devillard (2017) le décrit : coopérer c'est donner un sens collectif à l'activité, acquérir une culture commune, faire preuve de confiance les uns envers les autres. L'exemple donné ici montre également que l'équipe autonome fait preuve d'une certaine maturité.

5) **La régularité des réunions de coordination se vérifie sur le terrain.** Elle est rediscutée après 6 mois de fonctionnement pour s'assurer du désir de tous de son maintien, comme illustré ici : « *Est-ce qu'un temps de rencontre tous les 15 jours, c'est encore utile ? Vous en avez besoin ? On continue comme ça ?* ».

6) **Les réunions servent aussi à échanger sur le contenu du travail lui-même.** Cet exemple d'échange entre deux membres d'équipe sur la gestion des plannings l'illustre : « C*e qui s'est passé, c'est qu'il y a eu un arrêt le matin à 7h, c'est L. qui est venu faire la toilette de Mme X, il ne la connaissait pas, c'est pas évident, et il s'en est super bien sorti, donc il est prêt à le refaire.* » (parole de S.). « *Ah ok, très bien !* » (réponse de N.). Un autre échange sur le contenu de l'activité entre 3 membres de l'équipe a eu lieu en réunion : « T*u fais soit le côté cuisine, soit le côté chambre, tu peux pas faire tout.* » (parole de N.) « *Ah oui, je vois.* » (réponse de E.). « *Oh moi je fais tout, c'est tellement petit que tu peux* » (réponse de B). « *Moi je le fais à fond, donc j'ai pas le temps* » (réponse de N.) « O*ui d'accord, moi j'arrive quasiment à faire tout mais bon, je fais vite et pas à fond, faut pas toujours faire comme ça.* » (réponse de B). « *Ok je vais y aller tranquille alors.* » (réponse de E.).

Cependant, des dérives fonctionnelles et relationnelles sont apparues, constituant des risques psycho-sociaux (tableau 4). L'acquisition de nouvelles compétences liées à la gestion de l'activité nécessite un temps de formation, de mise en pratique, de partage d'informations avec les autres. Le risque de surcharge de travail administratif et collaboratif est réel, empiétant sur la vie personnelle. De plus, une pression psychologique s'exerce dans le groupe de façon tacite pour créer un sentiment d'appartenance fort, un partage optimal des valeurs et des décisions, au risque de nuire au bien-être de certains membres se sentant à l'écart, jusqu'à l'exclusion.

Tableau 4 : Dérives fonctionnelles et relationnelles en lien avec l'équipe autonome et verbatims associés.

1) **Le temps consacré au travail d'équipe**, pour se former, rédiger les comptes-rendus de réunion, réaliser les plannings, ou encore se coordonner avec les autres, est intégré au temps de travail quand cela est possible, ou le soir après les visites à domicile, ou durant les jours de repos, comme en témoigne cet échange en réunion : « *Après je pense, vous pouvez aussi des fois prévoir ça un jour de repos, des fois moi je viens même si c'est mon jour de repos* » (parole de E.) « O*ui moi aussi, mais c'est exceptionnel, si on peut éviter c'est mieux* » (parole de N.) « *normalement un jour de repos on n'y touche pas* » (parole de S.)

2) **Les départs de 2 membres d'équipe** en cours de projet avancé (en 2022), l'un lié à un projet professionnel planifié, l'autre à une volonté de quitter l'équipe autonome par manque d'intégration ressentie, ont été bien vécus par le groupe, et même compris et accepté. Comme l'explique le coach, « *Y. se sentait mal à l'aise dans l'équipe, elle l'a quittée, mais elle reste dans l'entreprise. Le groupe n'est pas mécontent car il aime être en petit comité. Le noyau central est toujours là, pour eux c'est ce qui compte.* » L'identité collective est forte, le pivot de l'équipe est stable, solide, solidaire, fier de qui a été réalisé dans l'activité. Une pression psychologique tacite s'exerce intra-groupe. Lorsque les membres sont d'accord avec la majorité, et partagent les valeurs communes, l'équipe en est renforcée. Un membre pour qui ce partage n'a pas lieu, sera mis à mal, jusqu'à son départ, désiré par le reste du groupe.

Pour l'équipe, devenir autonome constitue un réel défi qui exige un investissement important (en temps, formation, apprentissage sur le tas, régulation, adaptation, etc.). La progression de l'équipe vers l'autonomie, les valeurs et les émotions ressenties, renforcent l'engagement, au risque de masquer l'exposition à des situations critiques : surcharge de travail, transformations des identités professionnelles et personnelles, tensions relationnelles (si interdépendance trop forte, manque d'intégration, contrôle par les pairs). Le repérage et la mise en visibilité de ces situations critiques permet d'alerter sur les risques de stress, surinvestissement, burnout, et d'adapter la prévention de ces risques psychosociaux aux situations spécifiques qui ont été mises en évidence.

4. DISCUSSION – CONCLUSION

Les méthodes psycho-ergonomiques présentent l'avantage de pouvoir mettre en lumière les représentations du personnel sur la transformation de l'organisation et les conditions de réalisation du travail. Elles ont permis de repérer les risques existants et ceux anticipés, en lien avec l'analyse des résultats de l'activité réelle, à domicile et en réunion de coordination. Une limite de ces méthodes tient au fait que les pressions tacites qui s'exercent au sein d'un groupe ne sont que partiellement repérables, étant donné leur caractère discret. Elles risquent d'échapper au recueil de données, d'où l'importance d'une triangulation des méthodes pour maximiser les moyens d'y accéder. De même, le fait de pouvoir mener une étude longitudinale contribue à optimiser cet accès aux données « cachées ». Une autre limite concerne la transférabilité des résultats à d'autres entreprises, possible dans une certaine mesure, étant donné les spécificités du terrain étudié, même si nous espérons que cette étude puisse servir d'exemple à d'autres structures qui souhaiteraient intégrer ce mode d'organisation et mener une prévention des risques psychosociaux adaptée à ces situations.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abraham, J. (2005). Modes d'organisation flexibles et management des connaissances. Le cas des Equipes Autonomes. *Gestion 2000, 22*(3).

Avril, C. (2006). Le travail des aides à domicile pour personnes âgées : contraintes et savoir-faire. *Le mouvement social, 216*(3), 87-99.

Boullier, C., & Ruffier, C. (2021). Autogestion et entreprises libérées : une réappropriation en trompe-l'œil ? *Mouvements*, 106(2), 145-152.

Chevalier, L. (2021). Favoriser la transformation managériale et organisationnelle des services d'aide à domicile : une réponse des pouvoirs publics pour améliorer l'attractivité de ces métiers (Projet Régional I-MANO). *Trajectoires Humaines Transcontinentales*, 73-92.

Cristofalo, P., & Petit dit Dariel, O. (2021). Travail en équipe et autonomie collective : une expérience dans les soins infirmiers à domicile. *Santé Publique*, 33(4), 527-536.

Cristofalo, P., Petit dit Dariel, O., & Minvielle, E. (2019). La fabrique du travail en équipe dans les établissements de santé. *Journal de Gestion et d'Économie de la Santé, 3*(3), 259-282.

Devillard, O. (2017). *La dynamique des équipes et l'intelligence collective.* Editions Eyrolles.

Drennan, V. M., Calestani, M., Ross, F., Saunders, M., & West, P. (2018). Tackling the workforce crisis in district nursing: can the Dutch Buurtzorg model offer a solution and a better patient experience? A mixed methods case study. *BMJ open, 8*(6), e021931.

Dupuis, J.-C. (2020). Vous avez dit «Les employés d'abord»!? *Empan, 120*(4), 137-145.

Gray, B. H., Sarnak, D. O., & Burgers, J. S. (2015). *Home care by self-governing nursing teams: The Netherlands' Buurtzorg Model*: Commonwealth Fund NewYork.

Guiny, N. (2020). *L'entreprise Papillon: Quand un dirigeant gagne le pari des équipes autonomes*: Éditions EMS.

Hegedüs, A., Schürch, A., & Bischofberger, I. (2021). Implementing Buurtzorg-derived models in the home care setting: a Scoping Review. *International Journal of Nursing Studies Advances,* 4(4).

Hess, J. P. (2015). Enabling and sustaining shared leadership in autonomous teams. *European Scientific Journal*.

Karsenty, L. (2019). *Libérer l'entreprise, ça marche ?* Toulouse, Octares.

Lalani, M., Fernandes, J., Fradgley, R., Ogunsola, C., & Marshall, M. (2019). Transforming community nursing services in the UK: lessons from a participatory evaluation of the implementation of a new community nursing model in East London based on the principles of the Dutch Buurtzorg model. *BMC health services research, 19*(1), 1-9.

Luc, E., & Le Saget, M. (2013). *La pratique du leadership partagé : une stratégie gagnante*: Les Presses de l'Université de Montréal.

Pereira, B. (2018). Mutation du rapport de subordination : le salarié « autonome » ou l'indépendant « subordonné » en France. *Management & Avenir, 104,* 37-56.

Prévot-Carpentier, M., & Van De Weerdt, C. (2019). Nouvelles formes d'emploi et de travail : les comprendre pour les positionner comme enjeu de prévention. *Hygiène et Sécurité du travail, INRS, 255,* 6-10.

Richard, D., Benbrahim, Z., Chabanet, D., & Perea, C. (2020). L'holacratie : une nouvelle gouvernance tournée vers la gestion des risques? *Question (s) de management*(2), 131-139.

Van De Weerdt, C. (2021). L'activité salariée dans les nouvelles formes d'emploi et de travail : analyse des valeurs et des émotions pour la prévention des risques professionnels. *Actes du congrès AIPTLF, Paris,* 7-10 juillet 2021.

Van De Weerdt, C. (2018). La régulation de la charge émotionnelle dans le secteur des services à la personne (pp 269-289). In C. Berghmans (Dir.). *Compétences et intelligence émotionnelle en entreprise : regard multiple.* Paris : L'Harmattan.

Van De Weerdt, C., Morel, O., Caël, C. (2017). Prévention des situations à risque de forte charge émotionnelle : exemple dans le secteur de l'aide à domicile. *Psychologie du Travail et des Organisations, 23, 4,* 326-343.

Van De Weerdt, C. (2016). Les émotions au travail des intervenants à domicile. *Hygiène et Sécurité du Travail, 243,* pp. 42-46.

Venne, J.-F. (2022). Soins à domicile : casser le moule. *Gestion, 47(1),* 84-88.

CL : *L'autonomisation des équipes de travail dans l'aide à domicile : enjeux psychosociaux d'une transformation de l'organisation*

Raphaël Haller & Corinne Van De Weerdt

INRS, Département Homme au Travail, Laboratoire Ergonomie et Psychologie Appliquées à la Prévention, 54500 Vandœuvre-Lès-Nancy

raphael.haller@inrs.fr

corinne.vandeweerdt@inrs.fr

RESUME

Le monde du travail en évolution constante peut être vu comme le miroir de notre société. L'attrait pour les formes d'organisations participatives est récurrent. Depuis une dizaine d'années, le modèle d'équipe autonome se développe dans le secteur de l'aide à domicile. Ce modèle est censé en théorie améliorer tant les conditions de travail des professionnels que la réactivité des structures face au turn-over et à l'absentéisme qui sont caractéristiques de ce secteur d'activité. Mais qu'en est-il en pratique ? Comment sont vécues les conditions de travail lors du processus de transformation ? Quelles en sont les incidences sur la santé des professionnels ? Au moyen d'une étude longitudinale réalisée dans une entreprise d'aide à domicile en cours de transformation, nous montrons que l'implantation du modèle d'équipe autonome et les attentes y étant liées peuvent devenir contraignantes, d'un point de vue logistique pour l'organisation et psychosocial pour les professionnels. L'étude s'inscrit dans une approche psycho-ergonomique et un objectif de prévention des risques psychosociaux.

MOTS-CLES

Aide à domicile, Changement organisationnel, Equipe autonome, Prévention, Risques psychosociaux

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Le secteur de l'aide à domicile est en tension, avec une demande d'aide en hausse (DARES, 2021) et un turn-over élevé (Doniol-Shaw, 2009). Celui-ci peut s'expliquer par la nature accidentogène de l'activité. Le taux de gravité des accidents est supérieur de 65% à la moyenne (DARES, 2008). Les salariés sont exposés à des contraintes tant physiques que psychosociales (DARES, 2021). La précarité de l'emploi (Devetter et al. 2021) impacte l'attractivité du métier (Bonnet & Drais, 2021). Le rapport Libault (2019), entre autres, met en évidence un besoin d'améliorer les conditions de travail pour augmenter l'attractivité, en recourant notamment à des innovations organisationnelles. Pour s'adapter à ces difficultés, le secteur de l'aide à domicile tend à s'inspirer des modes de management favorisant l'autonomie (Chevalier, 2021), dont le modèle Buurtzorg (Monsen & de Blok, 2013) qui s'est développé dans le soin à domicile aux Pays-Bas. Ce dernier est censé améliorer les conditions de travail en favorisant l'autonomie, et les relations entre membres des équipes. Les aides à domiciles regroupées en unités sont chargées de gérer leurs plannings, les réunions de coordination, la communication intra-entreprise, le recrutement et la formation des collègues, les équipements

techniques, tout en veillant à la mise en visibilité du métier à l'extérieur (forums des métiers, centres de formation, etc.). Les manageurs, qui organisaient auparavant le travail des salariés, sont voués à prendre un rôle de « coach ». Ce rôle consiste à accompagner les équipes tout au long du processus, grâce à l'animation des réunions mensuelles, des espaces d'expression intra-équipe, ainsi qu'à la régulation des difficultés rencontrées par les salariés, avant de pouvoir déléguer ces rôles. A terme, le coach devient un support administratif pour les équipes (Monsen & de Blok, 2013). Peu d'études ont analysé les pratiques d'équipes autonomes (Gilbert et al, 2017), et lorsque cela a été le cas, les salariés interrogés fonctionnaient en unités déjà constituées. Ils avaient donc l'habitude de travailler ensemble et de recourir si besoin à des régulations sociales et émotionnelles. Or, les aides à domicile travaillent généralement de façon isolée. Cette singularité peut avoir un impact sur le processus de construction d'équipe. L'étude s'inscrit dans une approche psycho-ergonomique et vise à analyser les enjeux psychosociaux de la transformation de l'organisation, en mettant l'accent sur les risques psychosociaux (Gollac & Bodier, 2011). Nous avons cherché à étudier si une transformation organisationnelle pouvait modifier les risques psychosociaux existants et en faire émerger de nouveaux. Notre volonté de compréhension systémique des enjeux psychosociaux avait également pour but d'envisager une prévention des risques professionnels qui tienne compte de cette évolution organisationnelle. L'étude vise donc l'analyse de l'évolution de l'organisation sur le plan des conditions de travail avec un regard porté sur les aspects organisationnels, sociaux, cognitifs, émotionnels et idéologiques.

1.2. Cadre théorique

Afin de comprendre les impacts du changement organisationnel sur le vécu psychosocial des professionnels et en corolaire sur le phénomène de désengagement, il est nécessaire d'accéder aux enjeux de santé au travail de manière globale. Plusieurs auteurs ont élaboré des catégorisations des risques psychosociaux. Gollac et Bodier (2011) évoquent l'intensité du travail, les exigences émotionnelles, l'autonomie, les rapports sociaux au travail, les conflits de valeur et l'insécurité de la situation de travail. Coutrot et Sandret (2015) décrivent l'intensité du travail, la latitude décisionnelle, le soutien social, la justice et la reconnaissance, les exigences émotionnelles, les conflits éthiques et l'insécurité économique. L'intérêt de procéder à une catégorisation est d'étudier finement un objet d'étude tout en tenant compte de sa globalité, comme Clot et Leplat (2005) le décrivent dans l'approche clinique. Si l'on considère ces classifications de dimensions, en cherchant à les mettre en relation avec un processus dynamique d'évolution organisationnelle, il ressort que plusieurs théories existent, permettant, comme l'ont fait les auteurs, de qualifier précisément ces dimensions. C'est notamment le cas de Karasek (1979) qui a mis en évidence le rapport exigence-latitude, en mettant l'accent sur des questions de répartition de la charge de travail. Lorsqu'un changement majeur est prévu, un transfert des tâches (de gestion de planning par exemple) impactera l'organisation et la répartition de la charge, modifiant ainsi le champ des actions possibles pour les professionnels (Clot et Simonet, 2015). Par ailleurs, sur le plan cognitif, tout processus de formation s'exerçant pour développer et acquérir de nouvelles compétences implique une augmentation du coût cognitif liée à l'activité. Le rapport entre la difficulté de réalisation de nouvelles tâches et l'utilisation des compétences immédiatement disponibles ou en cours d'acquisition est alors à prendre en considération (Vygotski, 1979 ; Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1990). Pour finir, il a été montré qu'une transformation impliquant la création de nouvelles équipes et donc l'émergence des rapports sociaux en construction avait pour conséquence des changements dans la dynamique de groupes modifiant le soutien social, le mode de prises de décision, ou encore les modes d'influence sociale (Blanchet & Trognon, 1994). Si l'on considère à présent plus spécifiquement le secteur des services à la personne, l'activité des aides à domicile contient une composante relationnelle et émotionnelle, déterminée en grande partie par les liens existant avec les bénéficiaires (Van De Weerdt et al, 2017). Celle-ci peut créer des exigences émotionnelles plus ou moins fortes pour les professionnels. Si l'on prend en compte le contexte de transformation vers un fonctionnement en équipe autonome, ces

exigences émotionnelles demeurent particulièrement importantes à examiner car la dynamique émotionnelle des professionnels via l'accroissement prévisible du nombre d'interactions entre eux pourrait modifier les sources d'exigences émotionnelles et les moyens de régulation. Une autre caractéristique du secteur de l'aide à domicile touche aux valeurs (au sens de Schwartz, 2006) qui constituent une source de motivation, souvent importante pour les professionnels (comme le sentiment d'utilité, etc.) (Van De Weerdt et al, 2017). Une dissonance peut exister entre les valeurs des professionnels et les conditions de réalisation de l'activité. Une transformation impliquant la constitution de nouvelles équipes permettra aux membres d'exprimer et de partager leurs valeurs tout comme d'ajuster les conditions de réalisation de l'activité en favorisant le sens au travail dans une perspective de « care » (Isaksen, 2000). Parmi les catégories décrites par ces auteurs, nous avons sélectionné les cinq qui correspondent de façon ciblée à l'objectif de notre étude qui s'intéresse au secteur de l'aide à domicile employant des personnes initialement isolées au travail et regroupées dans des unités nouvellement créées. Ces cinq catégories retenues - qui sont : l'organisation de la charge de travail, le coût cognitif de la transformation, les rapports sociaux entre professionnels, les exigences émotionnelles et les aspects idéologiques - ont servi à structurer le recueil de données à travers la création d'un guide d'entretien semi-directif ainsi qu'à l'analyse des données recueillies.

2. MILIEU D'ETUDE ET METHODES

2.1. Terrain d'étude et projet de changement organisationnel

L'entreprise de services étudiée emploie environ 40 aides à domicile répartis sur 5 secteurs géographiques et 1 équipe administrative de 5 personnes, dont le dirigeant, 2 responsables de secteur, 1 responsable de l'accueil et du portage de repas et 1 comptable. La direction devant faire face aux problématiques inhérentes au secteur qui risquaient de mettre en péril l'entreprise, a considéré le modèle d'équipes autonomes comme étant une solution. Ce changement nécessitant une transformation importante, le dirigeant a décidé de recourir à divers accompagnements pour aider l'entreprise à l'acculturation au modèle, la formation du personnel, l'appropriation du mode de fonctionnement, la prévention des risques professionnels. C'est ainsi que plusieurs organismes sont intervenus comme supports de manière satellite. Les enjeux pour l'entreprise étaient d'acquérir de nouvelles compétences techniques, mais aussi de déconstruire certains modes de fonctionnement issus de la tradition « pyramidale », jusqu'à l'adoption de postures managériales entièrement différentes. Les formes de communication interne évoluant fortement, des formations étaient aussi prévues pour favoriser les échanges, la coordination, le partage du vécu et l'expression des besoins. Les 5 équipes ont été constituées en respectant les secteurs géographiques préexistants.

2.2. Méthodes

L'étude, qui s'inscrit dans une approche préventive des risques professionnels, analyse les risques psychosociaux liés à la transformation organisationnelle. Des entretiens individuels et des observations de l'activité de plusieurs aides à domicile ont été menés de manière longitudinale, afin d'examiner différents moments du vécu des professionnels sur leur travail et sur leurs projections vis-à-vis de l'évolution organisationnelle (tableau 1). La présente communication se focalise sur la partie relative aux entretiens individuels. 14 entretiens exploratoires ont été conduits : 8 avec les membres de l'équipe administrative (A1, A2, A3, A4) dont 4 avec la direction (D1x4) et 6 avec les organismes accompagnant l'entreprise. L'analyse des données d'entretien a servi à affiner le guide d'entretien semi-directif structuré initialement en 5 catégories (détaillées dans le cadre théorique). 10 entretiens semi-directifs ont été réalisés avec un échantillon constitué de 2 membres volontaires pour chacune des cinq équipes (E), soit 10 intervenants (I) à domicile (E1 : I1, I2 ; E2 : I3, I4 … E5 : I9, I10). Le contexte pandémique a impliqué une passation à distance pour ces entretiens semi-directifs. Par la suite, plusieurs travailleurs ayant quitté l'entreprise, dont certains membres de l'échantillon initial, la poursuite de plusieurs entretiens initiés dans la première phase n'a pas pu avoir lieu. A la suite de

plusieurs démissions dans l'équipe administrative, des entretiens semi directifs avec les remplaçants se sont ajoutés à ceux initialement prévus (D1x2, D2, A4, A5, A6, A7). En cours d'étude, l'entreprise a connu un changement de direction. Ceci a eu des implications sur la continuité du projet d'autonomisation qui a connu des ralentissements à certaines périodes. Des données en nombre suffisant ont néanmoins pu être recueillies malgré les conditions instables du projet.

Objet	Méthode	Période	Population
Pré-enquête	Etude documentaire	2021	Littérature scientifique
	Entretiens individuels exploratoires (14)	2021 1er S	(8) personnel administratif *(A1, A2, A3, A4, D1x4)*
			(6) organismes extérieurs accompagnateurs
Vécus et projections	Entretiens individuels semi-directifs (18)	2021 2ème S	(10) intervenants à domicile *(I1 à I10) 2 par équipe sur 5 équipes*
		2022	(8) personnel administratif *(A1, A2, A5, A6, A7, D1x2, D2)* *dont la nouvelle directrice D2*

Tableau 1 : Etapes de la méthodologie longitudinale

L'analyse de contenu est inspirée des méthodes d'analyse de la coopération entre professionnels dans une approche inductivo-déductive au sens de Rogalski (1998). Cette méthode a été retenue pour l'analyse des données d'entretiens. L'affectation catégorielle (Erudel & Saint-Dizier, 2017) nécessite une approche sémantico-pragmatique au sens de Trognon et Brassac (1992) dans laquelle l'identification des éléments repose également sur l'approche inductivo-déductive : inductif pour l'analyse des communications et déductif par l'orientation donnée par la grille qui capitalise les contenus (Rogalski, 1998). Les résultats sont présentés dans des tableaux structurés selon les 5 catégories retenues (O : organisation et répartition de la charge de travail, C : coût cognitif de la transformation, S : rapports sociaux entre professionnels, E : exigences émotionnelles, I : aspects idéologiques).

3. RESULTATS

La première partie des résultats concerne l'amorce du changement (tableaux 2 et 3), la deuxième partie porte sur le cours du changement (tableau 4 et 5), lorsque les professionnels disposent de recul sur le processus de transformation de leur entreprise. Pour chacune, un tableau présentera le vécu et un autre les projections sur le futur.

3.1. A l'amorce du changement

Cette partie récapitule les résultats communs à l'ensemble des professionnels, avec des *verbatim* représentatifs. En cas de divergences spécifiques aux différents postes (intervenant à domicile **(I)** et **(A)** poste administratif), des lettres sont insérées avant les *verbatim*. Le premier tableau est relatif aux vécu des professionnels.

Vécu à l'amorce du changement	
O	-Pression temporelle **(I)** *« y aller en 15 minutes à 8h du mat, c'est impossible … du coup dès le matin on est stressé » ;* **(A)** « *les plannings sont extrêmement chronophages au détriment du reste* » -Qualité de service impactée par les modifications de planning **(I)** « *on connait le terrain, on sait ce que les patients veulent, ce qu'ils ont besoin, mais quand on remplace on sait pas* » ; **(A)** *« on passe plus de temps à gérer des urgences qu'à s'occuper des humains derrière »*
C	-Manque de formation « *franchement il y a un manque de formation, mais quelque part, ça se comprend avec un tel turn-over* »
S	-Difficultés de communication **(I)** « *la communication ne va pas dans les deux sens tout le temps* » ; **(A)** *« parfois je ne me sens vraiment pas comprise par les équipes »*

E	-Motivation liée aux aspects relationnels et émotionnels « *je pense que si on fait ce métier aussi, c'est parce qu'on est empathique et qu'on a besoin de se sentir utile, d'apporter une aide* » -Les contacts entre aides à domicile et responsables de secteur/coach sont source d'émotions **(I)** « *j'ai déjà eu des coups d'éclat contre la chef … après voilà c'est la colère, ça sort tout seul* » ; **(A)** « *j'ai honte des fois d'envoyer les plannings* »
I	-Congruence entre les valeurs individuelles et celles de l'entreprise « *il faut que le bénéficiaire soit bien, c'est ça le but* » -Perte de sens liée au sentiment de qualité empêchée « *ça (les contraintes temporelles) m'éloigne de ce que j'aimerais trouver dans mon travail* »

Tableau 2 : Vécu à l'amorce du changement

Le vécu à l'amorce du changement confirme les difficultés du secteur de l'aide à domicile identifiées dans la littérature : pression temporelle, instabilité des plannings, manque de formation, difficultés relationnelles, exigences émotionnelles et dissonance éthique. Le tableau suivant présente les projections sur le futur des professionnels lors de l'amorce du changement.

	Projections à l'amorce du changement
O	-Optimisation les plannings **(A)** « *l'équipe autonome est un projet salutaire pour les conditions de travail* » ; **(I)** « *la gestion autonome de notre planning, ça serait tout de suite beaucoup mieux* » ; **(I)** « *on va prendre beaucoup sur notre temps à nous sans être rémunérées* »
C	-Développement de nouvelles compétences **(A)** « *les intervenantes vont comprendre les contraintes de planning* » ; **(I)** « *modifier les plannings, on pourra peut-être pas le faire aussi bien que les responsables qui ont l'habitude* »
S	-Amélioration les relations entre aides à domicile et responsables de secteur/coach **(A)** « *ça pourrait amener plus d'intercompréhension entre les équipes et les coachs* » ; **(I)** « *si des fois, les changements de planning, si on n'est pas d'accord entre nous… pour les vacances ou quoi* »
E	- Inquiétude d'une surcharge de travail **(I)** « *on peut aussi avoir le risque d'un surplus de travail, moi c'est ma grosse crainte* »
I	-Le projet est en congruence avec les valeurs individuelles et le sens de l'activité « *ça permettra de mieux répondre aux attentes des bénéficiaires, de mieux valoriser notre travail* »

Tableau 3 : Projections à l'amorce du changement

Les projections à l'amorce du changement montrent que le projet de transformation est positivement perçu par l'ensemble des professionnels. Cependant, les intervenants à domicile identifient certaines difficultés potentielles, notamment au niveau de la charge de travail.

3.2. En cours de changement

Les deux tableaux présentés ci-dessous récapitulent les résultats communs de l'ensemble des professionnels. Les résultats relatifs aux différents postes (intervenant à domicile **(I)** et **(A)** poste administratif) ne présentent pas assez de divergence pour être détaillés. L'ensemble des résultats de cette partie est relatif aux données recueillies en cours de changement.

	Vécu en cours de changement
O	-Augmentation de la charge de travail en lien avec l'augmentation du turn-over « *il y a tellement de choses, les arrêts maladie, remplacements, recrutements, toujours de l'urgence et on a pas le temps de tout faire* » -Difficulté de recruter des profils durables « *un départ du jour au lendemain, après W est arrivée et il fallait tout montrer, elle part, après il a fallu montrer à X qui arrivait et c'est pas évident, elle connait pas le secteur, entre temps Y s'en va parce que ça lui plait pas et Z qui arrive qui a toute la charge sur son dos* » -Manque de moyens pour le projet « *on a pas les moyens logistiques, faudrait repenser les logiciels* »
C	-Charge de l'acquisition de nouvelles compétences « *on a dû la former pendant deux mois, elle est restée un mois et demi et après faut recommencer avec la prochaine qui arrive* » -Hiatus entre contenu théorique et mise en pratique « *la formation c'est bien mais je vois pas l'intérêt concret* »

S	-Cohésion impactée par turn-over « *toujours la même chose, les remplacements d'urgence, donc forcément on a pas le temps pour les équipes, pas de réunion depuis bien quatre cinq mois et de toutes façons on connait même pas tout le monde* » ; « *depuis que V est partie, c'était elle qui portait l'équipe, bah il n'y a plus d'esprit d'équipe* » -Ajustements mutuels entre collègues « *elle me téléphone et me demande si je peux reprendre sa prestation parce que trop loin pour elle dans sa tournée, je lui dit oui c'est bon et puis on s'arrangera le weekend prochain, je lui refilerai une autre prestation* »
E	-Frustration vis-à-vis des difficultés du projet « *je comprends juste pas comment d'autres structures arrivent à y passer et pourquoi nous on galère comme ça* » -Sentiment d'abandon vis-à-vis des coachs et de la direction « *il faut que je sois en pleurs pour qu'elle m'écoute mais c'est un peu trop tard une fois que tout déborde* » -Régulation émotionnelle entre professionnels « *quand on se prend la tête avec une collègue, après je préfère aller la voir directement, mais moi je n'oserais pas encore le dire devant tout le monde en réunion »*
I	-Perte de sens vis-à-vis du projet « *le concept est bien, le mettre en application c'est autre chose … et comme ça traine en longueur, on s'éloigne du bénéfice que ça peut apporter pour nous comme pour les bénéficiaires »*

Tableau 4 : Vécu en cours de changement

Le vécu en cours de changement met en évidence les difficultés de mise en œuvre du projet. La charge de travail nécessaire à la mise en place des équipes autonomes (formations et réunions) se cumule à la charge liée à la réalisation de l'activité quotidienne qui est aussi impactée par le turn-over. La priorité de l'organisation reste la continuité de service aux bénéficiaires, et ce, au détriment du projet d'équipe autonome. Le tableau suivant présente les projections sur le futur des professionnels récoltées lors de l'amorce du changement.

	Projections en cours de changement
O	-Difficultés pour rétablir un équilibre dans l'organisation de travail « *bah pour que ça marche, il faudrait plus d'arrêt maladie, des équipes constantes sans jamais de changement, mais ça c'est très compliqué à avoir* »
C	-Manque de connaissances/compétences pour mettre en place le projet **(A)** « *on avait six mois pour faire la passation des savoirs (avec l'ancienne directrice), on a rien fait, donc mes nouvelles fonctions je les ai pas prises, que sur le papier c'est tout* » ; **(I)** *« au final, il reste peu d'anciennes qui ont été formées à l'équipe autonome et les nouvelles qui arrivent sont même pas au courant du truc »*
S	-Difficultés à maintenir la cohésion nécessaire au projet « *je vous dis, il y aura toujours des arrivées et des départs, des arrivées, des départs et ça déstabilise les équipes et puis après c'est compliqué pour reprendre une continuité* »
E	-Découragement vis-à-vis du projet « *personnellement, je suis vraiment inquiète pour l'avenir* »
I	-Perte de sens vis-à-vis du projet « *ouais, les équipes autonomes on est au point mort et je sais pas si ça a du sens de faire ça* »

Tableau 5 : Projections en cours de changement

Les projections en cours de changement mettent en évidence le fait que les professionnels ont des difficultés à imaginer l'aboutissement de la mise en place du fonctionnement en équipe autonome.

3.3. Analyse des résultats

Tout d'abord, la comparaison du vécu et des projections à l'amorce du changement montre que les conditions de travail sont perçues comme difficiles et que les professionnels espèrent une évolution positive grâce aux équipes autonomes. Bien que les intervenants à domicile appréhendent certaines difficultés, le modèle reste perçu comme une solution d'amélioration. La comparaison des vécus à l'amorce et en cours de changement rend perceptible la difficulté d'implémentation du projet, en partie imputable au turnover. L'instabilité des postes de responsable de secteur-coach a pénalisé la continuité d'accompagnement des équipes qui est nécessaire à leur autonomisation. L'instabilité des effectifs d'équipes, en plus des problématiques de remplacement, a pénalisé le développement de la cohésion intragroupe. Une équipe a été considérablement défavorisée par le départ de son leader dans un climat conflictuel. L'autre difficulté majeure de mise en place du projet réside en l'appropriation des compétences de gestion de planning par les équipes. Un hiatus est ressenti entre

formation théorique et mise en pratique. La nature des savoirs en eux-mêmes est concernée mais également l'écart temporel dû à l'absence d'un logiciel *ad-hoc*. En outre, la comparaison des projections à l'amorce du changement et des vécus en cours de changement montre un écart flagrant. Les difficultés vécues en cours de changement n'étaient pas attendues à son amorce, d'autant plus pour les responsables de secteurs/coachs qui n'avaient pas anticipé autant de difficultés que les intervenants à domicile. Cet écart peut en partie expliquer la surprise et le découragement des responsables de secteur/coach face à l'augmentation de leur charge de travail. Lorsqu'un responsable de secteur/coach démissionne, son binôme restant se retrouve dans une situation critique, ce qui tend à expliquer le phénomène des départs en cascade à ce poste. Enfin, la comparaison des projections faites à l'amorce et au cours du changement met en évidence un phénomène de désillusion. Le projet d'équipe autonome qui suscitait initialement des projections majoritairement positives a engendré des projections négatives voire une absence de projection. Ce phénomène de désillusion peut en partie s'expliquer par une confusion entre le fonctionnement en équipe autonome lui-même et son processus de mise en place. En effet, si un modèle peut améliorer les conditions de travail, son implémentation est souvent contraignante pour l'organisation.

4. DISCUSSION

La mise en place de l'organisation en équipe autonome augmente certains risques psychosociaux et en fait émerger de nouveaux, essentiellement liés à la charge de travail et aux interactions en équipe. L'accumulation de la charge de travail due à l'acquisition de nouvelles compétences a conduit à une diminution de la marge de manœuvre et de la latitude décisionnelle des salariés et de la direction (Karasek, 1979). Les professionnels ne pouvant s'investir dans le projet de changement comme ils le souhaiteraient pour les raisons qui ont été analysées, ceci freine le champ des actions possibles ainsi que le pouvoir d'agir des acteurs sur l'organisation (Clot & Simonet, 2015). De plus, l'écart entre les contenus apportés en formation et les besoins réels du terrain constituent un autre obstacle, pouvant induire un désintérêt et un état d'anxiété (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1990). En revanche, bien que la cohésion sociale ait souffert de l'instabilité des effectifs, un soutien social s'est développé au sein des équipes, des échanges professionnels ont eu lieu et des régulations des difficultés relationnelles et organisationnelles ont vu le jour entre les membres interagissant davantage grâce à la mise en place de modes de communication en réseaux « tous circuits » (Blanchet & Trognon, 1994). En lien avec ces aspects, l'augmentation des interactions entre aides à domicile a constitué une source d'émotions supplémentaire, nouvelle. La régulation émotionnelle, assurée au niveau individuel dans l'organisation initiale, tend vers un mode de régulation collective, dont l'expression émotionnelle entre professionnels en serait le premier pas (Van De Weerdt et al, 2017). Dans la perspective du sens au travail d'Isaksen (2000), l'activité comprend un aspect utile, bénéfique pour autrui, des relations épanouissantes et les modalités de travail sont basées sur l'autonomie, la liberté, la fierté et l'amélioration continue. Le parallèle peut se faire avec certaines valeurs du modèle de Schwartz (2006) comme l'autonomie, la réussite, la stimulation et la bienveillance. La vision du métier décrite par les professionnels de l'aide à domicile s'inscrit dans cette lecture de sens et de valeurs. Les professionnels témoignent ici d'une certaine fierté vis-à-vis des relations bienveillantes établies avec leurs bénéficiaires, pour lesquels ils améliorent les conditions de vie et favorisent le maintien en autonomie à travers les stimulations apportées. Cette lecture de sens et de valeurs s'applique donc à l'activité d'aide à domicile mais également au modèle d'équipe autonome, puisqu'il est sensé améliorer les conditions de travail, favoriser l'autonomie des professionnels et offrir de la stimulation via la montée en compétences, le tout dans un contexte de relation bienveillante. De ce point de vue, l'organisation en équipe autonome apparaît compatible avec ce secteur d'activité, car elle s'inscrit en congruence avec le sens et les valeurs déjà intériorisées par les professionnels de l'aide à domicile. Il nous semble possible de prédire que le fonctionnement en équipe autonome pourra devenir pérenne lorsque l'organisation aura compensé le coût d'entrée de la

transformation qui se manifeste actuellement par une accumulation de la charge de travail et des risques psychosociaux y étant liés.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La mise en place du fonctionnement en équipe autonome nécessite de la stabilité au niveau des équipes et de l'accompagnement de la part de l'encadrement, ce qui relève d'un défi quand l'organisation souffre déjà d'un fort turn-over. Le projet d'évolution organisationnelle a souffert du départ de professionnels (dont des personnes motivées par le changement organisationnel) et d'une augmentation de la charge de travail. Ceci a généré un stress perçu pour ceux qui sont restés dans l'entreprise. Certaines pistes de prévention des risques psychosociaux ont été dégagées de cette étude. Réduire le nombre d'équipe concernées par le changement devrait alléger la charge d'accompagnement des équipes et les besoins de remplacements liés aux formations. Et permettrait de réduire l'écart temporel entre formation et mise en pratique. Conserver une partie de l'entreprise en organisation classique permettrait de conserver les professionnels qui ne souhaitent pas le fonctionnement en équipe autonome. Réaliser des retours d'expérience avec les premières équipes autonomes favoriserait l'accompagnement des prochaines équipes en voie d'autonomisation. Augmenter le nombre de coachs uniquement durant le processus de transformation favoriserait la qualité d'accompagnement des équipes en autonomisation. Maintenir la continuité des réunions des équipes autonomes favoriserait la cohésion groupale nécessaire au processus d'autonomisation. Envisager de manière anticipée la mise à disposition d'un logiciel de gestion permettrait aux équipes de mettre en pratique plus rapidement les compétences transmises en formation.

6. BIBLIOGRAPHIE

Blanchet, A., et Trognon, A. (1994). La psychologie des groupes. Nathan Paris

Bonnet, T., et Drais, É. (2021). Les tensions du travail d'articulation dans l'encadrement de l'aide à domicile. Le cas du secteur marchand face à une pénurie de ressources. Sociologies pratiques, 42(1), 33-43.

Chevalier, L. (2021). Favoriser la transformation managériale et organisationnelle des services d'aide à domicile : Une réponse des pouvoirs publics pour améliorer l'attractivité de ces métiers (Projet Régional I-MANO). Trajectoires Humaines Transcontinentales.

Clot, Y., & Leplat, J. (2005). La méthode clinique en ergonomie et en psychologie du travail. Le travail humain, 68(4), 289-316.

Clot, Y., et Simonet, P. (2015). Pouvoirs d'agir et marges de manœuvre. Le travail humain, 78(1), 31-52.

Coutrot, T., & Sandret, N. (2015). Pilotage du travail et risques psychosociaux. Dares Analyses, 3, 1-10.

Csikszentmihalyi, M., et Csikzentmihaly, M. (1990). Flow : The psychology of optimal experience (Vol. 1990). Harper et Row New York.

Devetter, F.-X., Dussuet, A., et Puissant, E. (2021). Aide à domicile : Le développement du travail gratuit pour faire face aux objectifs inconciliables des politiques publiques. Mouvements, 106(2), 90-98.

Doniol-Shaw, G. (2009). L'engagement paradoxal des aides à domicile face aux situations repoussantes. Travailler, 2, 027-042.

Erudel, N., et de Almeida, V. S.-D. (2017). L'animation des collectifs visant la prévention des RPS: étude d'un processus d'intervention en milieu hospitalier. Psychologie du Travail et des Organisations, 23(4), 363-379.

Gilbert, P., Teglborg, A.-C., et Raulet-Croset, N. (2017). L'entreprise libérée, innovation radicale ou simple avatar du management participatif? 1, 38-49.

Gollac, M., et Bodier, M. (2011). Rapport du collège d'expertise, de suivi des risques psychosociaux au travail.

Isaksen, J. (2000). Constructing meaning despite the drudgery of repetitive work. Journal of humanistic Psychology, 40(3), 84-107.

Karasek Jr, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. Administrative science quarterly, 285-308.

Libault, D. (2019). Grand âge, le temps d'agir. La documentation française.

Monsen, K. A., et de Blok, J. (2013). Buurtzorg: Nurse-led community care. Creative nursing, 19(3), 122-127.

Rogalski, J. (1998). Concepts et méthodes d'analyse des processus de coopération dans la gestion collective d'environnements dynamiques. Communications interactives dans les groupes de travail, 27-58.

Schwartz, S. H. (2006). Les valeurs de base de la personne : Théorie, mesures et applications. Revue française de sociologie, 47(4), 929-968.

Sumer, É. (2021). Chiffres clés sur les conditions de travail et la santé au travail. Dares, Synthèse Stat, 37.

Trognon, A., et Brassac, C. (1992). L'enchaînement conversationnel. Cahiers de linguistique française, 13, 76-107.

Van de Weerdt, C., Morel, O., et Caël, C. (2017). Prévention des situations à risque de forte charge émotionnelle : Exemple dans le secteur de l'aide à domicile. Psychologie du Travail et des Organisations, 23(4), 326-343.

Vygotsky, L. S. (1979). M. Cole, VJ Steiner, S. Sylvia, ve E. Souberman (Ed.), Mind in society.(2. Bs.).

CL : *Coping et gestion de la douleur aigue post-blessure en sport de haut niveau.*

Anne-Claire Macquet[1], Raphaël Bonnet[1] & Marion Trousselard[2],

[1]INSEP, laboratoire Sport, Expertise, performance, EA 7370, anne-claire.macquet@insep.fr; raphael.bonnet15@gmail.com

[2]Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), marion.trousselard@gmail.com

RÉSUMÉ

La douleur est un stresseur. Les athlètes de haut niveau sont reconnus avoir une tolérance à la douleur plus élevée que la population générale. Cette étude vise à modéliser les stratégies de gestion de la douleur aigüe post-blessure et à comparer les stratégies entre les athlètes. Des entretiens semi-directifs ont été menés individuellement avec 12 athlètes de haut niveau blessés. Les données ont été traitées en lien avec la théorie ancrée (Corbin & Strauss, 1990) et le modèle transactionnel du coping (Lazarus & Folkman, 1987). Les résultats ont montré 14 stratégies (six centrées sur le problème et huit sur les émotions). Ils ont démontré que les athlètes de haut niveau rapportaient plus fréquemment des stratégies centrées sur le problème que sur les émotions. Ils indiquent également que les athlètes ont favorisé trois stratégies différentes et souligné des différences entre les hommes et les femmes. Ces résultats renforcent le modèle transactionnel du coping. L'identification d'un large panel de stratégies suggère une flexibilité dans le répertoire et la variabilité du coping.

MOTS-CLES

Stratégies de gestion de la douleur aigüe, coping, flexibilité, athlètes experts, émotions.

1. INTRODUCTION

La douleur est une expérience désagréable comportant des composantes sensorielle, cognitive, émotionnelle et comportementale (Igolnikov et al., 2018). La douleur est un stresseur auquel les athlètes doivent faire face lorsqu'ils sont blessés (Lazarus & Folkman, 1987). Elle est un facteur important qui peut impacter le processus de réhabilitation (Tesarz et al., 2012). Peu de travaux portent sur la gestion de la douleur aigüe chez les athlètes blessés, au regard du plus grand nombre de travaux menés sur la douleur chronique dans la population générale (e.g., Irachabal et al., 2008). Le Comité International Olympique a souligné le besoin de mieux comprendre le processus de gestion de la douleur aigüe et chronique chez les athlètes de haut niveau (Hainline et al., 2017) et en particulier de développer un guide de bonnes pratiques sur la gestion de la douleur post-blessure, en vue d'améliorer la prise en charge des patients. Il est reconnu que les athlètes ont une tolérance à la douleur plus élevée que la population générale (e.g., Tesarz et al., 2012), ce qui suggère qu'ils ont développé des mécanismes spécifiques de gestion de la douleur. La majorité des études sur la douleur a utilisé un protocole expérimental dans lequel une douleur était induite et pouvait rapidement être arrêtée (e.g., Flood et al., 2016). A notre connaissance, aucune étude n'a porté sur une douleur post-blessure en environnement naturel, qui ne pouvait pas être soulagée rapidement. Notre recherche vise à pallier à ce manque, en développant une meilleure compréhension de l'expérience des athlètes experts face à la douleur aigüe, au cours du processus de réhabilitation. Dans la mesure où la douleur est considérée comme un stresseur, le modèle transactionnel du coping (Lazarus & Folkman, 1987) s'avère utile pour étudier les stratégies de coping mobilisées par les athlètes de haut niveau, lorsqu'ils font face à la douleur aigüe post-blessure sportive. Selon ce modèle, le coping a deux fonctions : le coping centré

sur le problème (i.e., changer les relations entre l'individu et son environnement) ou sur les émotions (i.e., gérer les effets des émotions en lien avec la situation). Les stratégies de coping peuvent être plus ou moins adaptatives. L'étude vise à modéliser les stratégies de gestion de la douleur aigüe post-blessure en relation avec le modèle transactionnel du coping et à comparer les stratégies mobilisées entre les athlètes.

2. METHODE

2.1. Participants

12 athlètes de haut niveau blessés (six hommes et six femmes), ressentant de la douleur liée à une blessure sportive et en arrêt de l'entraînement depuis plus de sept jours ont participé à l'étude.

2.2. Recueil des données

Des entretiens semi-directifs d'environ 1h30 ont été menés individuellement avec chaque athlète. Ils visaient à mettre à jour les stratégies mobilisées par les athlètes pour gérer la douleur aigue, dans trois types de situations de la vie quotidienne : a) situations dans lesquelles la douleur se déclenchait brusquement, b) perdurait, c) perturbait le sommeil).

2.3. Traitement des données

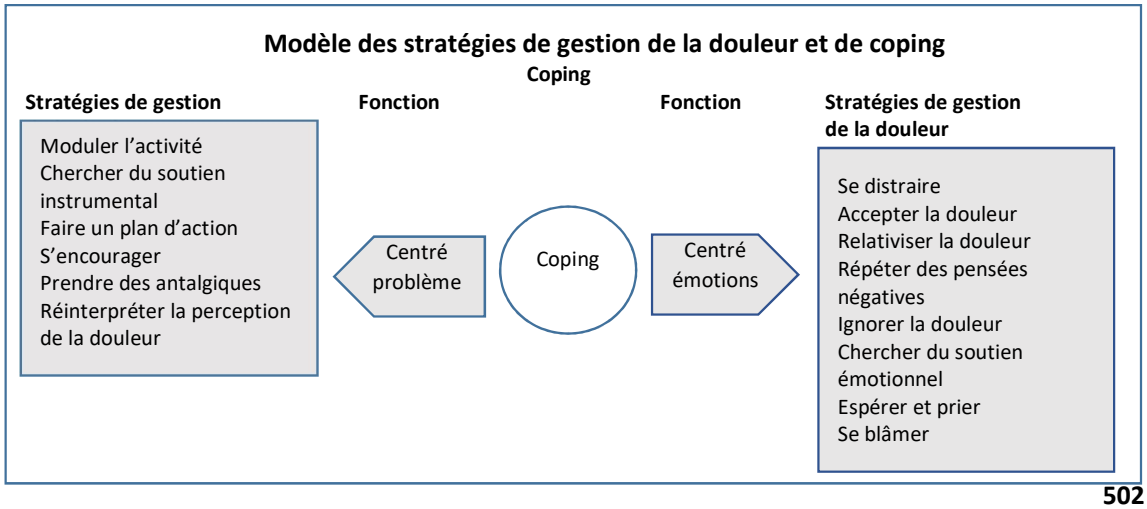
Dans un premier temps, les données ont été traitées en lien avec la théorie ancrée (Corbin & Strauss, 1990) et le modèle transactionnel du coping (Lazarus & Folkman, 1987). Les données ont été analysées : a) de manière inductive pour mettre à jour les stratégies utilisées, puis b) de manière déductive afin relier les stratégies identifiées aux deux fonctions du coping (Lazarus & Folkman, 1987). Elles ont ensuite permis de modéliser les stratégies de coping mobilisées pour gérer la douleur aigüe.

Dans un second temps, une première comparaison a porté sur les fréquences avec lesquelles les stratégies de coping ont été rapportées, puis une seconde comparaison s'est focalisée sur les stratégies utilisées par les athlètes masculins et féminins.

3. RESULTATS

Les résultats ont montré 14 stratégies de coping centrées sur le problème ou sur les émotions. Les stratégies centrées sur le problème étaient : a) moduler l'activité, b) chercher du soutien social, c) faire un plan d'action, d) s'encourager, e) prendre des antalgiques, et f) réinterpréter la situation douloureuse. Les stratégies centrées sur les émotions étaient : a) se distraire, b) accepter la douleur, d) relativiser la douleur, e) répéter des pensées négatives, f) ignorer la douleur, g) chercher du soutien émotionnel, h) espérer et prier, et i) se blâmer.

Figure 1 :



Les résultats ont démontré que les athlètes de haut niveau rapportaient davantage l'utilisation de stratégies centrées sur le problème (59% de l'ensemble des stratégies) que de stratégies centrées sur les émotions (41% de l'ensemble des stratégies). L'analyse des résultats indique que les athlètes ont favorisé trois stratégies (représentant 49% de l'ensemble des stratégies) : a) moduler l'activité, b) chercher du soutien instrumental, et c) se distraire.

Les résultats n'ont pas mis en lumière de différence significative entre les hommes et les femmes concernant les fonctions du coping, mais la répartition des stratégies de coping émotionnel différait entre les hommes et les femmes. Les femmes rapportaient plus souvent des stratégies liées à « chercher du soutien social », « se distraire » et « s'encourager », que les hommes. Les hommes rapportaient davantage de stratégies inhérentes à « chercher du soutien instrumental » et « ignorer la douleur » que les femmes.

4. DISCUSSION

A notre connaissance, cette étude est la première étude qui modélise les stratégies de gestion de la douleur mobilisées par les athlètes experts blessés. Nos résultats suggèrent que la gestion de la douleur est un processus dynamique qui s'appuie sur des efforts cognitifs et comportementaux et une régulation émotionnelle. Les résultats renforcent le modèle transactionnel du coping (Lazarus & Folkman, 1987). Ils ont montré que les athlètes experts modulaient fréquemment leur activité pour faire face à la douleur aigüe, en alternant entre activité et pauses. Ces résultats montrent que les athlètes ne cherchaient pas à éviter la douleur, comme cela est prédit pour la douleur chronique par le modèle peur-évitement (Vlayen et al., 2016), ni qu'ils avaient une attitude catastrophiste à l'égard de la douleur (Sullivan et al., 2000). Ils suggèrent plutôt que les athlètes étaient à l'écoute de leur corps, pour atteindre un état d'équilibre entre l'activité et la douleur induite par l'activité.

Les résultats ont mis en évidence que les athlètes cherchaient à se distraire en éloignant leurs pensées de la douleur et qu'ils cherchaient du soutien instrumental pour avoir des conseils et des informations auprès des soignants et de leurs pairs. Ces stratégies sont en lien avec celles mises en évidence par la population générale pour faire face à la douleur chronique (e.g., Irachabal et al., 2008).

Les athlètes ont rapporté qu'ils acceptaient la douleur en mettant en œuvre des techniques de méditation de pleine conscience (Hayes et al., 2006). Ces techniques pourraient être utilisées dans des études interventionnelles pour apprendre à mieux gérer la douleur.

La variété des stratégies de coping suggère de la flexibilité dans le coping avec la douleur aigüe. Les résultats soulignent la palette de stratégies utilisées dans cette étude dépasse celle mise en évidence pour la gestion de la douleur chronique chez la population générale (e.g., Irachabal et al., 2008). Kato (2012) définit la flexibilité du coping en trois catégories : a) le répertoire (i.e., nombre de stratégies mobilisées), b) la variabilité (i.e., capacité à changer de stratégie), et c) l'adaptation (i.e., capacité à utiliser des processus méta-cognitifs pour abandonner une stratégie au profit d'une autre). Ces résultats novateurs suggèrent un large répertoire de stratégies et une variabilité dans leur utilisation. On peut s'attendre, même si l'étude ne l'a pas montré, à ce qu'une large palette de stratégies et une variabilité dans l'utilisation de ces stratégies soient plus efficaces qu'une palette étroite et une faible variabilité. De futures études pourraient évaluer ces effets ainsi que les processus méta-cognitifs mobilisés par les douloureux face à la douleur.

Les stratégies centrées sur le problème sont apparues moins nombreuses (six stratégies) que celles centrées sur les émotions (huit stratégies), tout en étant plus fréquemment mobilisées par les athlètes experts. Cette centration plus marquée sur le problème à résoudre, que sur les émotions suggère que les athlètes experts considèrent la situation douloureuse comme étant en partie contrôlable. Lorsque la situation est contrôlable, la recherche de contrôle s'avère plus adaptative, que lorsqu'elle ne l'est pas (Bruchon-Schweitzer, 2014). On peut donc s'attendre à ce que ces stratégies

soient plus efficaces, dans ces conditions, que celles centrées sur les émotions. A l'inverse, les stratégies centrées sur les émotions sont jugées plus efficaces lorsque la situation est évaluée comme non contrôlable. De futures études pourraient permettre d'évaluer le caractère contrôlable et non contrôlable de la situation, et l'efficacité perçue du coping et des stratégies de gestion de la douleur.

Cette étude exploratoire montre que l'analyse des stratégies de gestion de la douleur aigüe permet de mieux comprendre le processus de gestion de la douleur et d'envisager des implications pour la pratique en contexte clinique. Dans un premier temps, il pourrait être intéressant, au cours d'entretiens individuels ou collectifs, d'identifier et de faire prendre conscience aux athlètes des stratégies qu'ils mobilisent pour gérer la douleur aigüe. Dans un second temps, des interventions cliniques ou en accompagnement psychologique pourraient permettre de développer un large répertoire de stratégies de gestion de la douleur et d'optimiser la flexibilité des athlètes dans l'utilisation de ces stratégies, en fonction de l'efficacité des stratégies.

Pour conclure, cette étude novatrice utilisant une approche qualitative et quantitative a permis de modéliser un large panel de stratégies de gestion de la douleur aigüe, en lien avec le modèle transactionnel du coping (Lazarus & Folkman, 1987). De futures études sur la gestion de la douleur et la flexibilité du coping sont encouragées dans le sport et dans d'autres contextes.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bruchon-Schweitzer, M., & Boujut, E. (2014). *Psychologie de la santé*. Paris : Dunod.

Corbin, J., & Strauss, A. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory. Procedures and techniques.* Newbury Park, CA : Sage.

Flood, A., Waddington, G., Thompson, K., and Cathcart, S. (2016). Increased conditioned pain modulation in athletes. *Journal of Sports Science, 35*(11), 1066-1072. Doi: 10.1080/02640414.2016.121.0196

Hainline, B., Derman, W., Vernec, A., Budgett, R., Dei, M., Dvorak, J., Harle, C., Herring, A. A., McNamee, M., Meeuwisse, W., Moseley, G. Lorimer, Omolulu, B., Orchard, J., Pipe, A., Pluim, B. M., Raeder, J., Siebert, C., Stewart, M., Stuart, M., Turner, J. A., Ware, M., Zidenman, D., & Engebretsen, L. (2017). International Olympic Committee consensus statement on pain management in elite athletes. *British Journal of Sports and Medicine, 51,* 1245-1258.

Hayes, S. C., Luoma, J. B., Bond, F. W., Masuda, A., and Lillis, J. (2006). Acceptance and commitment therapy: model, processes and outcomes. *Behavioural and Research Therapy, 44*, 1-25. Doi: 10.1016/j.brat.2005.06.006

Igolnikov, I., Gallagher, R. M., and Hailine, B. (2018). Sport-related injury and pain classification. *Handbook of Clinical Neurology, 158,* 423-430. Doi: 10.1016/B978-0-444-63954-7.00039-2

Irachabal, S., Koleck, M., & Rascle, N. (2008). Pain coping strategies : French adaptation of the coping strategy questionnaire (CSQ-F). *L'Encéphale, 34,* 47-53. Doi : 10.106. j.encep.2006.11.002

Kato, T. (2020). Examination of the coping flexibility hypothesis using the coping flexibility scale-revised. *Frontiers in Psychology, 11:*561731. Doi: 10.3389/fsyp.2020.561731

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1987). Transactional theory and research on emotions and coping. *European Journal of Personality, 1*, 141-169.

Sullivan, M. L., Tripp, D. A., Rodgers, W., & Stanish, W. (2000a) Catastrophizing and pain perception in sport participants. *Journal of Applied Sport Psychology, 12,* 151-167. Doi: 10.1080/10413200008404220

Tesarz. J., Schuster, A. K., Hartmann, M., Gerhart, A., Eich, W. (2012). Pain Perception in Athletes compared to normally active controls: A systematic Review with Meta-Analysis. *Pain, 153*. Doi: 10.1016/j.pain.2012.03.005

Vlaeyen, J. W. S., Crombez, G., & Linton, S. J. (2016). The fear-avoidance model of pain. *Pain, 157*, 1588-1589. Doi: 10.1097/j.pain.0000000000000574

CC : *Les outils numériques en santé au travail, freins ou leviers de construction des dynamiques pluridisciplinaires ?*

Cédric Gouvenelle[1,2], Flora Maudhury[1] & Florence Thorin[1]

1

2

RÉSUMÉ

L'arrivée des plateformes numériques a révolutionné la santé au travail en donnant la possibilité aux Services de Prévention et de Santé au Travail Interentreprises (SPSTI) de se doter de bases de données permettant d'offrir aux professionnels de nouvelles possibilités d'agir. Cependant, dans un secteur d'activité qui se pose la question du développement de la pluridisciplinarité depuis 20 ans, l'arrivée de nouveaux outils peut parfois sembler être rapidement une solution. L'étude, menée dans un SPSTI précurseur en termes de développement des outils numériques, a pour objectif de faire le point sur les modalités et les impacts des transformations instrumentales et organisationnelles pour les professionnels de santé comme pour les membres des équipes techniques du SPSTI. Il s'agit de mettre en lumière les freins et les leviers ainsi que les différentes possibilités d'accompagnement à envisager.

MOTS-CLÉS

Santé au Travail, Data, pluridisciplinarité, Activité, Asymétries

1. LA SANTE AU TRAVAIL, UN SECTEUR EN MUTATION

La Loi santé travail apporte de nouvelles prescriptions aux Services de Prévention en Santé au Travail Interprofessionnels (SPSTI), notamment en termes d'offres, de traçabilité, d'évaluation des activités et de sécurisation des données. Face à ces transformations, de nouveaux outils et de nouvelles organisations naissent afin d'atteindre une ambition de 2002 : construire un fonctionnement qui allie pluridisciplinarité et performance des équipes pluriprofessionnelles. L'APST18 a cherché à anticiper les transformations légales et sociétales futures en engageant une réflexion prospective avec des start-up innovantes dès 2017 sur les moyens à mettre en œuvre afin de répondre au mieux aux besoins futurs des adhérents comme des travailleurs. Par un processus de co-construction avec les personnes de tout statut du SPSTI. A la date de l'étude, celui-ci est doté de 14 équipes autonomes, composées chacune d'un médecin, d'un infirmier santé travail (IDEST), d'un assistant de l'équipe pluriprofessionnelle, d'1/3 de technicien HSE et 1/3 d'ergonome pour un effectif dédié.

2. CADRE THEORIQUE

Les travaux s'appuient sur une approche centrée sur l'activité des personnes, leur perception, leur sensibilité (Coutarel, 2013; Récopé et al., 2013). La data est étudiée comme un outil de travail des personnes. Les personnes ne sont pas au services des outils mais coconstructeurs. Ils sont acteurs de la création de leur propre réalité, par la construction collective, les apprentissages, ils sont en position de modeler les outils et les organisations. Des freins ont été documentés au sein des SPSTI (Barlet, 2015; Caroly, 2013; Caroly et al., 2011; Caroly & Sallah, 2015). Caroly (2013) montre que la distribution même des tâches introduit au sein des SSTI des distorsions statutaires entre les métiers qui n'ont pas

tous la même visibilité. Certains ont des positions particulières qui les mettent dans une situation de dépendance au médecin du travail. Il apparaît en position asymétrique favorable et oriente l'action des autres membres de l'équipe pluriprofessionnelle. Cette dépendance est issue des prescriptions institutionnelles et organisationnelles, mais aussi de la reconnaissance du statut, de l'expertise comme de sa reconnaissance sociale (Bourdieu, 1979). Elle tient aussi d'un manque d'homogénéité dans la construction de règles de métier dans les métiers de l'équipes pluriprofessionnelle. Les possibilités de déploiement des débats interprofessionnels apparaissent faibles (Barlet, 2015; Caroly & Sallah, 2015). Pour autant, certaines circonstances encouragent l'engagement des personnes en position asymétrique défavorable, le développement du débat et au final de la pluridisciplinarité (Gouvenelle, 2021). L'acceptabilité technique de la data, la perception de son utilité ou de leur utilisabilité émerge comme central pour les utilisateurs (Nielsen, 1994). Il ne s'agit pas seulement de la prise en main de l'outil mais qu'il réponde efficacement à un besoin identifié des utilisateurs. Ils doivent être perçus comme des facilitateurs producteurs de dynamiques et non comme des frein au développement de l'activité (Barcellini et al., 2014).

3. METHODOLOGIE

La méthodologie est porteuse d'éléments de comparaison qui peuvent faire émerger des régularités dans les matériaux. Ces régularités s'entendent en termes de perception et de conduite des personnes, afin de pouvoir situer les régulations face aux modalités d'utilisation des outils ou organisationnelles mais aussi de constructions de normes collectives de métier (Garrigou et al., 2022).

La méthodologie de l'étude est construite en 4 phases. Desmatériaux sont construits entre 2017 et 2021 lors d'une recherche dont l'objectif est de comprendre les dynamiques sous-jacentes aux prises de rôles (Gouvenelle, 2021). Elle a permis de déterminer des caractéristiques d'un fonctionnement pluridisciplinaire des équipes pluriprofessionnelles. Pour cela, il a été réalisé de :

- L'analyse de l'activité des personnes
- L'objectivation de l'activité : catégorisation des rôles, des actions réalisées…
- La co-construction des organisations et des instruments (projets et groupes de travail sur les transformations des organisations et sur la conception/évolutions des outils)

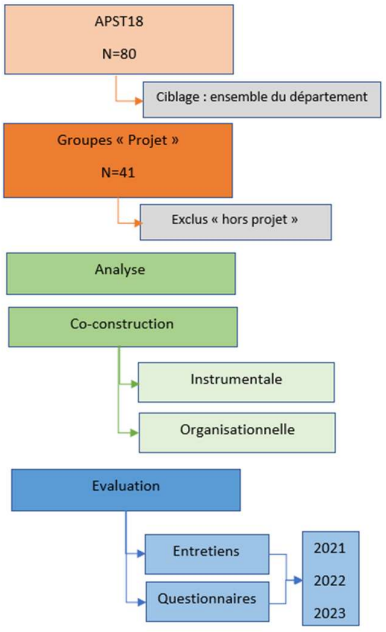


Figure 17 : Flow chart Méthodologie

Entre 2020 et 2023, une évaluation de la perception du vécu des acteurs (travailleurs et employeurs) est réalisée par le biais de la plateforme interconnectée. Elle concerne également les membres du SPSTI. La réalisation s'appuie sur :

- 475 questionnaires de satisfaction pour les travailleurs
- 100 questionnaires de satisfaction employeurs
- 48 Questionnaires sur l'utilisation de la data et de l'outil pour les professionnels du SPSTI
- 40 Entretiens de réalisés

4. RESULTATS

4.1. La perception de l'introduction de la data

Les résultats de 3 ans d'études des adhérents et des travailleurs font émerger la satisfaction de l'introduction de la plateforme interconnectée en santé travail dans les processus de suivi et d'accompagnement des travailleurs et des entreprises. Cette satisfaction est différenciée en fonction des populations. Les travailleurs notent une transformation du rapport au professionnel de santé lors de la visite. 76% des travailleurs interrogés estiment que la visite pré-connectée permet aux professionnels de santé de mieux connaître leur état de santé et leurs expositions (Figure 18).

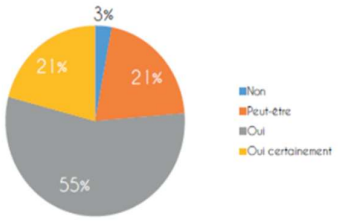


Figure 18 Perception de la visite préconnectée par les travailleurs

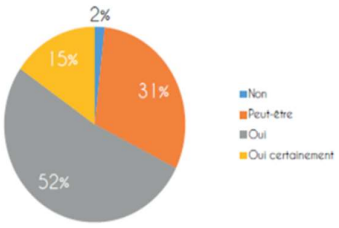


Figure 19 Perception de la visite préconnectée par les employeurs

Celui-ci apparaît plus en capacité d'orienter et de conseiller les travailleurs du fait d'une meilleure connaissance des métiers, de leurs expositions et risques spécifiques. Le professionnel de santé, en fonction des expositions auquelles est soumis le travailleur, mais aussi de l'entretien, prescrit des examens complémentaires, oriente vers des spécialistes ou initie une intervention en entreprise. Une réponse aux besoins des travailleurs satisfait également les employeurs. Ils sont 67% à estimer que cette visite pré-connectée permet à l'équipe pluriprofessionnelle de mieux prendre en charge la santé de l'ensemble des collaborateurs (Figure 19). Cette reconnaissance de la qualité du service du SPSTI est nouvelle là où habituellement émerge principalement la visite médicale.

Les professionnels signifient eux-aussi, (83%), que l'utilisation quotidienne des outils numériques dans leur activité de travail est jugée satisfaisante (Figure 4). Les outils, dans le discours des médecins du travail, émergent comme une aide technique et cognitive : *« Le fait d'avoir les expositions, ça donne des informations auxquelles tu ne penserais pas […] quand on ne connait pas les entreprises »* ou *« Il y a des sujets qui ressortent qui ne ressortaient pas avant. C'est plus simple à aborder aujourd'hui car c'est le travailleur qui a préalablement abordé le sujet. ça devient plus simple à requestionner en repartant de ce que le travailleur a répondu»*. La data et les suggestions issues de l'IA sont perçus comme comme une aide à la décision pas une dépossession professionnelle. Les données à disposition permettent aussi une meilleure connaissance de l'activité, de l'entreprise et des expositions des travailleurs ce qui contribue pour les équipes pluriprofessionnelles à mieux conseiller l'employeur, adapter le suivi et les ressources et coconstruire en équipe les méthodologies d'intervention supportant les actions en milieu de travail (AMT). Les données sont issues :

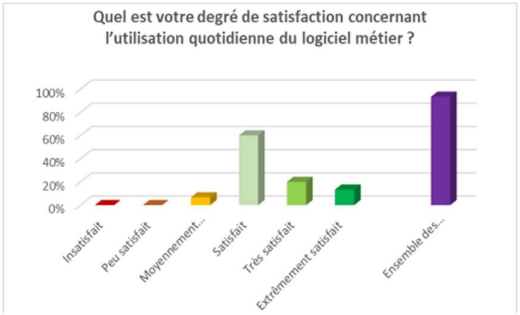


Figure 20 Perception par les professionnels du SPSTI de l'utilisation du logiciel métier

- Du déclaratif employeur (déclaration annuelle + Document Unique d'Evaluation des Risques) : informations sur les risques présents dans l'entreprise
- Du déclaratif salarié (questionnaire de pré-visite connectée : les questions portent sur l'exposition aux risques professionnels et l'état de santé du salarié
- Du suivi médical
- De données de terrain (AMT)

4.2. Une transformation organisationelle concomitante à l'introduction de la data

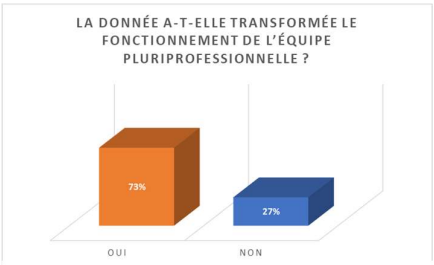


Figure 21 Perception de l'impact de la data sur le fonctionnement de

Il émerge des résultats que les professionnels du SPSTI, quel que soit leur statut professionnel, considèrent que l'introduction de l'utilisation de la donnée dans leur activité quotidienne a transformé le fonctionnement de l'équipe pluriprofessionnelle (Figure 21). Les demandes font l'objet d'échanges en réunion d'équipe et permettent de véritables débats intermétiers (Clot, 2008). Une base commune de partage existe autour de laquelle chacun peut apporter son éclairage. L'utilisation de ces données en équipe permet d'objectiver les situations et de réfléchir sur les possibilités d'actions. Lors d'une demande sur un poste, il apparaît qu'un autre poste de travail occupé par les mêmes salariés émerge comme particulièrement pathogène. Des actions conjointes (Visites médicales avec un focus sur ces questions, recherche bibliographique, statistique sur les visites à la demande et inaptitudes…) permettent de préparer le pré-diagnostic et la méthodologie à proposer à l'employeur. L'objectivation des données de santé et de la perception des travailleurs autorisent de renégocier la demande afin d'obtenir l'adhésion de l'employeur et des travailleurs. La data, intégrée dans un processus itératif fondé comme une expérience de vie (Varela et al., 1993), devient un objet intermédiaire (Vinck, 2009) qui ouvre également des possibilités de mise en relation de mondes exogènes, (travail réel, experts, employeur, IRP) dans l'objectif d'une construction commune.

L'acceptabilité de ces outils a été anticipée lors de leur mise en place. Lors de la conception de la plateforme numérique et des outils métier, un travail d'analyse et de co-construction a été mené de front afin d'intégrer les professionnels du SPSTI dans un environnement où l'outil participerait de la capabilité. Il a été possible de montrer que les asymétries statutaires effectives ne condamnaient pas les personnes à des actions prédéfinies, mais qu'en situation, elles pouvaient se saisir de sujet et réaliser des actions de tous type (Gouvenelle et al., 2022). Les transformations organisationnelles ont permis de développer le travail collectif au sein de l'équipe pluriprofessionnelle. Les résultats illustrés à la Figure 6 montrent que les différents statuts professionnels participent à la construction du diagnostic santé travail. Le médecin du travail demeure en position dominante dans l'équipe, en tant que coordinateur. Cependant, on constate une forme de décloisonnement entre les champs professionnels « médical », « prévention » et « administratif » avec des actions et objectifs communs pour répondre aux besoins des adhérents. Ce sont des dynamiques favorables à la construction d'un fonctionnement pluridisciplinaire des équipes pluriprofessionnelles. L'évolution du cadre participatif, du positionnement des métiers les plus invisibilisés (assistant, infirmier) a également été un levier pour proposer cette organisation au sein de laquelle, si les asymétries sociales et professionnelles n'ont pas disparues, elles apparaissent comme lissées (Gouvenelle, 2021). Le travail en équipe pluriprofessionnelle a donc évolué à la fois du fait des changements organisationnels et de l'apparition et l'utilisation de la donnée. Il reste cependant des disparités selon les équipes, avec des possibilités hétérogènes d'échanges, de co-construction et de travail collectif.

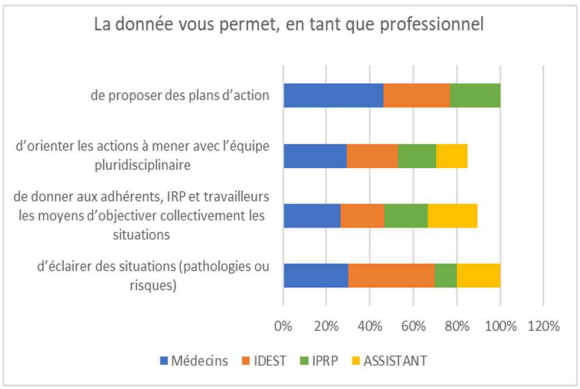


Figure 22 L'utilisation de la donnée par les professionnels du SPSTI

Un dernier élément à prendre en compte est le retour unanime d'un manque de formation qui participe à un sentiment de charge de travail augmentée et à une forme de *« frustration »*. Cela s'explique par l'aspect chronophage du temps de récolte et de traitement de données pour plusieurs raisons. Les personnes ont des difficultés à déterminer les objectifs et les caractéristiques des données en fonction de ce qu'ils cherchent à faire. Ensuite, ils ont des difficultés à manipuler les outils, à faire des tris, à manier les données, les échantillons et peuvent se sentir perdus aux milieux d'une masse de données à disposition sans savoir où aller, ce qui peut entraîner parfois l'abandon de la recherche initiée.

5. CONCLUSION

Les résultats soulignent que l'introduction de l'outil et la mise à disposition de la Data ne constitue pas en soi des leviers suffisants au développement de la pluridisciplinarité comme de la performance. Les outils sont perçus comme une aide mais également comme une charge de travail supplémentaire. La formation, l'appropriation des outils reste donc prioritaire. Cela autonomiserait les équipes pour construire des projets transversaux ou annuels mieux adaptés à leur effectif. L'approche développementale des organisations, des apprentissages ou de la conception des outils est donc centrale dans le processus. C'est le couplage de l'approche instrumentale et de l'activité, notamment les modalités de synchronisation de l'activité des personnes, cognitives comme opératoires, qui sont à l'origine des dynamiques collectives (Rabardel, 1995). Elles contribueront aussi, par le développement de la pluridisciplinarité au sein des équipes pluriprofessionnelles, à des possibilités de renforcer le langage ou les pratiques communs aux métiers. De nouvelles constructions de normes propres à chaque métier sont également indispensables, notamment pour homogénéiser la construction des données dans le SPSTI. Cet objectif a pour ambition, par la poursuite des ajustements du cadre participatif, le débat inter et intra métier de construire un collectif de travail fondé sur une norme de métier « équipe pluriprofessionnelle » élaborée collectivement.

6. BIBLIOGRAPHIE

Barcellini, F., Détienne, F., & Burkhardt, J.-M. (2014). A situated approach of roles and participation in open source software communities. *Human-Computer Interaction*, *29*(3), 205-255.

Barlet, B. (2015). *De la médecine du travail à la santé au travail Les groupes professionnels à l'épreuve de la pluridisciplinarité*. Thèse de Doctorat en Sociologie, Université Paris-Ouest Nanterre.

Bourdieu, P. (1979). *La distinction. Critique du jugement social*. Editions de minuit.

Caroly, S. (2013). Les conditions pour mobiliser les acteurs de la prévention des TMS : construire du collectif de travail entre pairs pour développer le métier et favoriser le travail collectif pluri-professionnel. Le cas des médecins du travail. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, *15*(2).

Caroly, S., Cholez, C., Landry, A., Davezies, P., Poussin, N., Bellemare, M., Coutarel, F., Garrigou, A., Chassaing, K., Petit, J., Baril-Gingras, G., Prudhomme, D., & Parrel, P. (2011). *Les activités des médecins du travail dans la prévention des TMS : ressources et contraintes*. ANR.

Caroly, S., & Sallah, M. (2015). *Tâches , objectifs des IPRP de SST et pluridisciplinarité. Analyse des résultats du questionnaire AFISST-PACTE des IPRP 2014*.

Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. PUF.

Coutarel, F. (2013). Le corps à l'effort : Un instrument du pouvoir d'agir. In *G. Boëtsch, D. Chevé & P. Blanchard, Corps et Couleurs* (p. 108-111).

Garrigou, A., Goutille, F., Gouvenelle, C., Vonarx, J., Lamarque, V., Swierczynski, G., Bussy, É., Canal-Raffin, M., Nascimento, A., Villa, A., Esterre, C., Aldana, J., Montigny, M., & Jolly, C. (2022, juillet 6). L'ergotoxicologie en actions – Mobiliser l'analyse de l'activité pour réduire les risques chimiques. *Actes du 56ème Congrès de la SELF, Vulnérabilités et risques émergents : penser et agir ensemble pour transformer durablement*.

Gouvenelle, C. (2021). *Les dynamiques des interactions asymétriques dans des collectifs pluridisciplinaires en SSTI. Une approche anthropologique et ergonomique de quatre projets de conception d'actions de prévention en santé au travail*. Thèse de doctorat STAPS, Anthropologie et Ergonomie, Université Clermont Auvergne.

Gouvenelle, C., Maudhuy, F., & Thorin, F. (2022). La data, un facteur de construction de la pluridisciplinarité. Freins et leviers de performance issus de la révolution numérique en Service de Prévention en Santé au Travail. *56ème Congrès de la SELF, Vulnérabilités et risques émergents : penseret agir ensemble pour transformer durablement. Genève, 6 au 8 juillet2022*, 204-209. www.ergonomie-self.org

Nielsen, J. (1994). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.

Récopé, M., Rix-Lièvre, G., Fache, H., & Boyer, S. (2013). La sensibilité à, organisatrice de l'expérience vécue. In *L. Albarello; J.-M. Barbier; E. Bourgeois & M. Durand. Expérience, activité, apprentissage* (p. 111-133). PUF.

Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit : Sciences cognitives et expérience humaine*. Seuil.

Vinck, D. (2009). De l'objet frontière à l'objet intermédiaire. Vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'anthropologie des connaissances*, *3*(1), 51-72.

CC : *Cybersécurité : Étude exploratoire des pratiques de gestion de mails en France.*

Julien DEGHAYE

École du Val de Grâce, 1 Pl. Alphonse Laveran, 75005 Paris, Juliien.deghaye@gmail.com

Isabelle BESANCON

Centre PsyCLE, Institut Créativité et Innovation, Aix Marseille Université,

29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence cedex 01, isabelle.besancon@univ-amu.fr

Liliane PELLEGRIN

Centre d'Epidémiologie et de Santé Publique des Armées, 408 rue J. Queillau 13014 Marseille

Aix Marseille Université, IRD, AP-HM, SSA, VITROME, IHU-Méditerranée Infection, Marseille

liliane.pellegrin_chaudet@univ-amu.fr

Marie-Hélène FERRER

Institut de Recherche Biomédicale des Armées, 1, place du général Valérie André BP 73

91223 Brétigny-sur-Orge Cedex, mariehelene.ferrer@gmail.com

RÉSUMÉ

La numérisation de l'espace de travail impacte tous les milieux professionnels et participe à la transformation de l'activité. De nombreuses études montrent qu'en sécurité numérique, l'humain est une source majeure de vulnérabilité. Le mail est aujourd'hui l'un des vecteurs importants de cyberattaques fructueuses pour les hackeurs. En France, peu d'étude sont réalisées sur l'activité de gestion des mails, les pratiques associées et la conscience de la sécurité numérique. Nous faisons l'hypothèse que cette faille en sécurité numérique est principalement due à la méconnaissance des pratiques des individus et de leurs besoins réels, ainsi qu'au décalage entre les utilisateurs et les ingénieurs qui conçoivent les systèmes d'informations. C'est pourquoi une étude exploratoire a été conduite, ayant pour objet les pratiques en lien avec la gestion de mails, en fonction des activités exercées dans différents milieux professionnels. Un questionnaire portant sur ce sujet a été proposé à 43 participants de profils différents qui ont répondu aux différents thèmes proposés. Les résultats obtenus nous ont permis de constater que certaines activités diffèrent entre deux groupes : managers et non-managers. Les managers qui gèrent plus de mails, sont plus sujet au nomadisme. Ils consultent et répondent à leurs mails dans des environnements plus variés comprenant des sources de perturbations au sein de l'organisation et en dehors. Ils déclarent également avoir des ressentis plus négatifs (i.e. stress, ennui, agacement) vis-à-vis de l'activité de gestion de mails que les non-managers.

MOTS-CLÉS

Stress**,** Sécurité numérique, Facteur Humain, Communication, Management

1. INTRODUCTION

La croissance rapide du cyberespace et le développement de l'internet des objets impactent toutes les sphères de la société incluant vie familiale et activité professionnelle des individus. Cette transformation numérique en évolution permanente est manifestement un véritable défi vis-à-vis de la santé psychique des personnels (Martin & Ferrer, 2019) décrit par le concept de technostress : « un trouble lié à l'incapacité de s'adapter aux nouvelles technologies de manière saine » (Brod, 1984). Les travaux de Boyer-Davis (2019), dans le domaine de la finance, mettent en avant un ressenti de techno-

invasion, techno-complexité et techno-insécurité plus important chez les managers que chez les non-managers. Les individus, sujets au technostress, développent une moindre satisfaction au travail se traduisant par une diminution de l'engagement organisationnel, de l'engagement pérenne au sein de l'organisation et de leur volonté d'y demeurer (Ragu-Nathan, 2008). De ce fait, l'implantation de la messagerie électronique dans les organisations professionnelles a-très fortement impacté l'activité des opérateurs, la gestion de leurs tâches et leur bien-être au travail. Depuis sa première utilisation en 1976 par l'ingénieur Ray Tomlinson, le mail s'est généralisé dans le travail. Armstrong (2017) a évalué ce phénomène dans le domaine de la santé et évoque une augmentation du temps passé à traiter les courriels. Ainsi, les médecins font face à une augmentation de la taille de leur boîte de réception en raison de la distribution massive de courriels provenant de diverses sources, en plus des courriels purement professionnels, nécessaires aux soins des patients. Il ajoute que la gestion des courriels est devenue un problème majeur dans ce secteur sensible, où le temps est une ressource limitée et où les professionnels de la santé doivent souvent jongler avec de nombreuses tâches et responsabilités. Creno & Cahour (2013) soulignent le fait que l'activité de gestion des mails occupe aussi une place centrale dans la vie professionnelle des cadres. Les autrices décrivent des stratégies spécifiques de gestion (i.e. réception, filtrage et organisation, modalités de réponse…), associées aux contraintes temporelles et à la surcharge initiale de travail. La gestion de la messagerie électronique doit donc être envisagée comme une tâche invasive et potentiellement coûteuse pour l'opérateur, apportant stress, fatigue et difficultés attentionnelles. Les contraintes d'usage de la messagerie et leurs enjeux dans les activités professionnelles induisent un réel défi non seulement pour la santé des opérateurs, mais aussi en matière de performance organisationnelle et de sécurité numérique. Concernant les organisations, la gestion des mails est une activité, à part entière, qui s'ajoute aux activités traditionnelles obligeant les managers à augmenter leur temps de travail ou à réduire le temps dédié à d'autres tâches. De ce fait, Rosen C. C (2019), évoque que cette activité supplémentaire impacte les principales activités opérationnelles comme la communication directe, la formation et l'établissement de relations avec les parties prenantes. De plus, l'expansion des technologies de l'information et de la communication génère de nouvelles vulnérabilités. Les erreurs commises dans la gestion des mails peuvent avoir des répercussions et faire émerger des risques sur le travail et les organisations. Parmi les erreurs courantes, on peut citer la suppression de mails importants, la négligence des mails de priorité élevée, et le transfert accidentel d'un mail au mauvais destinataire (e.g. homonyme). Selon Ferrer et al. (2012) « les erreurs commises par les managers ont des répercussions plus importantes sur l'entreprise en raison de leur position et de leur responsabilité accrues ». Dans le contexte de menaces récurrentes et croissantes en matière de sécurité numérique, ces comportements deviennent un enjeu majeur pour les organisations privées ou publiques.

En s'inspirant de ces résultats, notre étude préliminaire explore, en contexte français, les comportements de gestion de mails de managers et non managers dans leurs contextes professionnels courants pour en identifier des vulnérabilités potentielles afin de mettre en place des mesures pour minimiser les fuites d'informations voire d'atténuer les risques de subir une attaque malveillante.

2. METHODOLOGIE

Population : 43 participants ont répondu entièrement à cette enquête exploratoire. Ils sont âgés en moyenne de 42,7 ans (±12,2 ans). Nous avons distingué deux sous-groupes tels que les Managers (M) et Non-Managers (NM) : les professionnels M (n=16) sont âgés de 47,7 ans en moyenne dont 5 femmes, et les professionnels NM (n=27) sont âgés de 39,8 ans en moyenne et comptent 19 femmes.

Protocole : Pour cette étude, un questionnaire a été élaboré avec 122 questions réparties en 12 thèmes distincts. Les données socio-démographiques ont été recueillies en premier lieu (i.e. âge, sexe, statut professionnel, rôle de management, expériences et/ou formations en informatique). Ensuite, trois environnements de travail différents ont été considérés (i.e. bureau, télétravail et déplacement)

afin d'identifier les différences de perturbation de l'activité en fonction de l'environnement. Les réponses ont été collectées à l'aide d'échelles de Likert en 7 points, allant de 1 pour « Jamais » à 7 pour « Toujours » pour cette section. Enfin, la dernière partie était consacrée aux boîtes de messagerie, et portait sur (a) les interfaces, (b) la fréquence et la modalité d'utilisation, (c) le traitement, (d) l'archivage des courriels, (e) la gestion des risques et de la sécurité, ainsi que (f) la gestion de la confidentialité. Le questionnaire comportait des questions filtres ainsi que des questions à choix multiples et uniques. L'enquête a été menée en ligne entre juin et juillet 2022.

3. RESULTATS

Concernant les données socio-démographiques, les deux groupes M et NM se distinguent par leurs médianes d'âge, leur répartition entre hommes et femmes. En particulier, le groupe M est à prédominance masculine contrairement au groupe NM.

Tableau 1 : Répartition en âge.

Moyenne (± Ecart type) Médiane	Comparaison Homme-Femme Mann & Withney (M&W)	Manager (n=16)	Non-Manager (n=27)	Comparaison M/MN (M&W)
Age	0.174	47.7 (±10.6) 49.5	39.8 (±12.3) 39	***p* = 0,023**

Concernant les tâches parallèles potentiellement source d'erreur attentionnelle, les M traitent leurs mails plus souvent que les NM lors de réunions, de conférences, soit dans un contexte de « double-tâche », au sens de la réalisation des deux tâches en simultané (e.g. être attentif à une réunion et traiter des mails ; cf. Tableau 2).

Tableau 2 : Évaluation de la fréquence subjective de la gestion d'un nombre trop important de mails et du comportement en double tâche pour le groupe M et NM.

Médiane	M (n=16)	NM (n=27)	Comparaison M/NM (M&W)
A quelle fréquence rencontrez-vous la situation ci-dessous ?			
Nombre trop important de mails	4,25 (±1,29) 4	3,15 (±1,70) 3	***p* = 0,026**
Traitez-vous intégralement (lecture + réponse) les courriels à caractère urgent lors de :			
Une réunion	3,75 (±2,11) 4	2,37 (±1,76) 2	***p* = 0,032**
Une conférence	3,69 (±2,15) 4	2,22 (± 1,34) 2	***p* = 0,027**

Concernant les déplacements professionnels, parmi les 43 répondants, 23 d'entre eux déclarent réaliser des déplacements indépendamment des rôles de M et NM. Le groupe M présente plus de professionnels confrontés à la réalisation de déplacements et de missions. Les M déclarent consulter plus souvent leurs mails en déplacement que les NM (cf. Tableau 3).

Tableau 3 : Taux de déplacement des répondants.

Médiane	M (n=16)	NM (n=27)	Test de Fisher
Vont en déplacement	75,00%	40,74%	***p* = 0,029**
Consultent souvent des mails en déplacement	91,66%	27,27%	***p* = 0,002**

Le niveau de stress ressenti par les M est supérieur à celui ressenti par les NM à la fois pour le traitement des mails et pour leur rangement (i.e. classement et archivage). Les niveaux d'ennui et d'agacement ressentis par les M sont supérieurs à ceux ressentis par les NM pour le rangement des mails (i.e. classement et archivage ; cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Ressentis face au traitement et au rangement des mails pour le groupe M et NM

Moyenne (± Ecart type) Médiane	Population totale (n=43)	M (n=16)	NM (n=27)	Comparaison M/NM (M&W)
Traiter (lire, répondre, les deux) vos mails peut occasionner chez vous :				
Stress	3.02 (±1.47) 3	3.75(±1.39) 4	2.59 (± 1.39) 3	***p* = 0,011**
Ennui	2.81 (± 1.40) 3	3.31 (± 1.45) 4	2.52 (±1.31) 3	*p* = 0,066
Satisfaction personnelle	3.49 (± 1.40) 2	3,00 (±1,55) 3,5	3,78 (±1,25) 4	*p* = 0,051
Ranger (classifier, archiver, les deux) vos mails peut susciter chez vous :				
Stress	1.98 (±1.30) 1	2,38 (±1,15) 2,5	1,74 (±1,35) 1	***p* = 0,033**
Ennui	2.53 (±1.80) 2	3,25 (±1,88) 3	2,11 (± 1,65) 1	***p* = 0,032**
Agacement	2.44 (±1.74) 2	3,06 (±1,81) 3	2,07 (±1,62) 1	***p* = 0,042**
Soulagement	3.09 (±1.84) 3	3,75 (± 1,81) 4	2,70 (± 1,77) 2	*p* = 0,099

4. DISCUSSION – CONCLUSION

La limite majeure de cette étude concerne la longueur importante du questionnaire. Détailler les usages a conduit à élaborer trop de questions, conduisant à un taux d'abandon de 36% des participants. Cependant, les statistiques réalisées ont permis l'émergence de résultats préliminaires. Tout d'abord, les managers et non-managers se différencient au niveau de l'âge et du sexe. Les positions managériales s'acquièrent en cours de carrière expliquant une moyenne d'âge plus élevée. Nous observons aussi un déséquilibre, puisque les positions managériales sont plus occupées par des hommes que des femmes.

Ensuite, les managers déclarent avoir fréquemment trop de mails à gérer. Ils réalisent plus souvent la gestion de mails en double-tâche lors de réunions ou de conférences. On suppose que ce comportement est lié à l'afflux des mails. L'interférence de double tâche peut entraîner une diminution des performances sur les deux tâches par rapport à la performance de chaque tâche effectuée individuellement. L'étendue de l'interférence de double tâche est influencée par les exigences des deux tâches, les tâches plus complexes entraînant une plus grande interférence (Pashler, 1994). Cette gestion en double tâche peut générer des erreurs lors des envois (e.g. erreur de destinataire ou erreur de document joint) et entraîner des conséquences en termes de sécurité numérique (e.g. téléchargement d'une pièce jointe contaminée ou clic sur un lien malveillant).

De plus, les managers semblent professionnellement pratiquer plus de nomadisme que les non-managers. Cette mobilité peut avoir des conséquences sur leur santé (Tissandier & Mariani-Rousset, 2019) mais aussi sur leurs usages numériques, fragilisant leurs pratiques sécuritaires (e.g. se connecter à un réseau non sécurisé).

Enfin, le niveau de stress ressenti par les managers dans l'activité de gestion de mail est supérieur à celui des non-managers. Les managers déclarent plus de ressentis négatifs lors d'activités liées au traitement et au rangement des mails, situation susceptible de favoriser la survenue d'incidents (e.g. erreurs d'inattention). Erkens (2019) évoque et démontre le fait qu'une personne peut sans le savoir propager ce stress à d'autres. Ainsi, non seulement un manager stressé peut être moins efficace dans son rôle, mais il peut également déclencher un dysfonctionnement au sein de son équipe en affichant certaines réactions émotionnelles (Harms, 2016).

En conclusion, les managers sont mobiles, reçoivent des afflux de mails, pratiquent la double-tâche, et éprouvent des ressentis négatifs quant à la gestion de leur messagerie. De ce fait, ils sont plus vulnérables et exposés aux risques de fuite d'informations et d'attaques. Mieux comprendre ces phénomènes peut permettre de proposer des recommandations organisationnelles en fonction des spécificités de chaque activité. Ceci, dans l'objectif de réduire le risque cyber en adaptant l'activité à

l'individu et en améliorant les dispositifs de sensibilisation aux risques numériques de chaque acteur. Ainsi, un accroissement de la fiabilité des facteurs organisationnels et humains est envisageable afin de réduire ces risques.

5. REMERCIEMENTS

Le projet DRIFT-FH est soutenu par l'ANR : ANR-21-CE39-0015. Il s'inscrit dans une démarche transdisciplinaire impliquant des chercheurs des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines et sociales.

6. BIBLIOGRAPHIE

Armstrong, M. J. (2017). Improving email strategies to target stress and productivity in clinical practice. *Neurology: Clinical Practice*, 7(6), 512-517.

Boyer-Davis, S. (2019). Technostress in accounting professionals: A quantitative examination of the differences between managers and non-managers. *Journal of Accounting and Finance*, 19(2), 25-41.

Brod, Craig (1984). *Technostress: The Human Cost of the Computer Revolution*, Reading, Mass: Addison Wesley.

Erkens, V. A., Nater, U. M., Hennig, J., & Häusser, J. A. (2019). Social identification and contagious stress reactions. *Psychoneuroendocrinology*, 102, 58-62.

Ferrer, E., González-Rivera, J., Maldonado-Pérez, M., Martínez-Maurosa, M., & Soto-Montes, E. (2012). Enriching social capital and improving organizational performance in the age of social networking. *Issues in Information Systems*, 13(2), 390-393.

Harms, P. D. (2016). Crazy, stupid, mean. The reason leaders behave badly matters. *Talent Quarterly*, 8, 13-19.

Martin, L., & Ferrer, M. H. (2019). En quoi la digitalisation du travail a changé notre rapport au temps ? *Le Journal des psychologues*, (5), 38-42.

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244.

Ragu-Nathan, T. S., Tarafdar, M., Ragu-Nathan, B. S., & Tu, Q. (2008). The Consequences of Technostress for End Users in Organizations: Conceptual Development and Empirical Validation. *Information Systems Research*, 19(4), 417-433.

Rosen, C. C., Simon, L. S., Gajendran, R. S., Johnson, R. E., Lee, H. W., & Lin, S.-H. (J.). (2019). Boxed in by your inbox: Implications of daily e-mail demands for managers' leadership behaviors. *Journal of Applied Psychology, 104*(1), 19–33.

Tissandier, P., & Mariani-Rousset, S. (2019). Les bénéfices du télétravail. Mobilité modérée : réduction du stress et des émissions de gaz à effets de serre. *Revue francophone sur la santé et les territoires*.

COMMUNICATIONS AFFICHEES

P1 : *Intégration d'une démarche d'ergonomie prospective dans la conception d'un centre de supervision d'une flotte de véhicules autonomes.*

Jordan Scoliège[1], Jessy Barré[2] and Philippe Cabon[3]

[1]Institut VEDECOM, 23 allée des marronniers Satory, 78000 Versailles, France & University Paris Cité and Univ Gustave Eiffel, LaPEA, F-92100 Boulogne-Billancourt, France. jordan.sco@hotmail.fr

[2]Institut VEDECOM, 23 allée des marronniers Satory, 78000 Versailles, France. jessy.barre@vedecom.fr

[3]University Paris Cité and Univ Gustave Eiffel, LaPEA, F-92100 Boulogne-Billancourt, France. philippe.cabon@parisdescartes.fr

RÉSUMÉ

La mise sur le marché des véhicules autonomes génère de nombreuses interrogations. Bien que les questions relatives à la sécurité comme la reprise en main du véhicule par le conducteur soient très largement traitées la supervision à distance des véhicules est encore peu abordée. Le développement d'un tel système permettrait, dans le cas d'une flotte de navettes autonomes, d'assurer la fluidité du service et de prévenir certains incidents que le système autonome ne pourrait gérer. La littérature nous indique que de nombreux éléments de perturbation pourraient naître dans la relation entre l'Humain et le système. En vue d'appréhender ces limites et contraintes imposées par la dualité Humain - système, nous proposons de positionner les questions du facteur humain au centre du développement du véhicule autonome. L'intérêt porté à l'activité de travail des superviseurs dans un système encore inexistant, nous amène à la mobilisation du courant de l'ergonomie prospective qui propose un cadre conceptuel et méthodologique pour prévoir les besoins futurs, développer la créativité et concevoir des solutions adaptées (Brangier & Robert, 2012). Au travers de cette production nous présentons notre démarche qui s'appuie sur l'analyse des situations de références afin d'alimenter des ateliers de créativité. Ces ateliers sont à destination de staff d'experts qui ont pour objectif de projeter l'activité future de supervision d'une flotte de véhicules autonomes.

MOTS-CLÉS

Véhicule autonome, Automatisation, Supervision, Ergonomie prospective, Facteur Humain.

1. DEVELOPPEMENT DU VEHICULE AUTONOME

La mise sur le marché des véhicules autonomes génère de nombreuses interrogations. Bien que les questions relatives à la sécurité comme la reprise en main du véhicule par le conducteur soient très largement traitées (Gold, Happee, & Bengler, 2018 ; Haué, Le Bellu, & Barbier, 2020), la supervision à distance des véhicules est encore peu abordée. Le développement d'un tel système permettrait, dans le cas d'une flotte de navettes autonomes, d'assurer la fluidité du service et de prévenir certains incidents que le système autonome ne pourrait gérer. Cependant, la littérature nous indique que de nombreux éléments de perturbation pourraient naître dans la relation entre l'Humain et le système, tel que les biais de complaisance, le manque de conscience de la situation ou encore les phénomènes de surcharge cognitive. En vue d'appréhender ces limites et contraintes imposées par la dualité Humain - système, nous proposons de positionner les questions du facteur humain au centre du développement du véhicule autonome. Dans ce système, le facteur humain sera concentré sur la tâche

de supervision de la flotte. Etant donné l'objet d'étude de notre recherche : le véhicule autonome, nous devons mobiliser des champs disciplinaires au-delà de l'ergonomie de conception. En effet, le système global du véhicule autonome est inexistant tant sur le plan technique que sur le plan législatif. De ce fait, le déploiement commercial ou les différents usages sont encore inconnues laissant entrevoir des évolutions disruptives.

Ainsi, l'intérêt porté à l'activité de travail des superviseurs dans un système encore inexistant, nous amène à la mobilisation du courant de l'ergonomie prospective qui propose un cadre conceptuel et méthodologique pour prévoir les besoins futurs, développer la créativité et concevoir des solutions adaptées (Robert & Brangier, 2012). En prenant le parti prit d'envisager l'intégration de l'humain au sein d'un système mené par les industriels selon une approche techno-centrée, nous nous positionnons en-temps que prescripteur d'un besoin sous-jacent au développement de celui-ci ; ce qui est une des volontés de l'ergonomie prospective.

2. RECUIEL DE L'ACTIVITE DE SITUATIONS EXISTANTES

Nous cherchons à croiser les méthodologies et outils des différents courants de l'ergonomie, notamment l'analyse des situations de références pour répondre au pilier prospectif de l'approche utilisée et l'animation d'ateliers de créativités pour permettre une projection sur des usages encore inexistants. Pour ce faire, le travail se différencie en plusieurs étapes.

Premièrement, nous nous basons sur la méthode des situations de références (Daniellou, 1992) en effectuant des analyses de l'activité au sein de différents secteurs d'activité ayant la supervision au centre de leurs activités. Cette étape permet d'obtenir d'alimenter le pilier prospectif de l'approche mobilisé. Nous obtenons une vision réelle et élargie de l'activité de supervision dans les systèmes déjà existants. Les éléments recueillis permettent de situer la place de l'opérateur de supervision dans l'organisation de travail, d'en comprendre les contraintes de l'activité et d'en identifier les outils mis en place. Ces éléments permettent d'une part de comprendre les besoins d'une conception anthropocentrée et d'autre part sont centraux dans les ateliers de créativité construits et menés par la suite.

De nombreuses situations de références ont été identifiées et 7 d'entre eux nous ont permis des recueils de données à différents niveaux. Nous avons investigué 3 domaines du secteur de l'aviation à la fois civil et militaire : le Centre en Route de la Navigation Aérienne, le Centre militaire de Contrôle, et le Centre de Détection et de Contrôle de l'espace aérien. Également, le secteur du transport en commun de bus et tramway, le secteur tunnelier par le tunnel du Mont blanc, du métro ainsi que des drones en logistiques ont fait l'objet de recueils de données.

Nous identifions plusieurs différences clés entre les secteurs, notamment sur le mode fonctionnement mais également sur la position donnée au superviseur. Nous identifions un fonctionnement par secteur dans le domaine de l'aviation quand les autres domaines fonctionnement sur l'ensemble des trajets effectués par les mobiles (voitures, tramways, drones, etc.) pris en charge. La position du superviseur est également sujette à des variations. Le superviseur a d'un côté un rôle proactif dans le secteur aérien et d'un autre côté un rôle réactif dans le secteur transport en commun par exemple. Nous identifions également un positionnement hybride pour le secteur du drone.

3. PROJECTION CREATIVE DE L'ACTIVITE FUTURE

Les ateliers de créativité constituent la seconde partie du travail. Ils ont un double objectif. Un objectif applicatif : imaginer les fonctions pré requises à la mise en place d'un système de véhicules autonomes en ayant comme point de départ l'activité des opérateurs de supervision, et un objectif théorique : identifier l'apport de l'analyse des situations de références dans le courant de l'ergonomie prospective.

Les groupes de passations font l'objet de différentes conditions (i.e., accès ou non aux éléments issus des études ergonomiques des situations de référence) pour permettre de déterminer celles qui favorisent d'avantage la proposition d'idées nouvelles et pertinentes. Nous faisons l'hypothèse que l'ouverture apportée par les synthèses des études des situations de référence favorisent l'idéation et la pertinence des sorties des discussions du groupe. Une partie des groupes est constitué selon la méthodologie des staffs d'experts. Ces experts sont rattachés au domaine de la supervision mais sont mixés selon leurs spécialités et leur secteur d'activité afin de permettre d'enrichir et de favoriser les apports des expériences personnelles. L'autre partie des groupes est composée de personnes éloignées de la supervision et possédant des spécialités similaires. Nous faisons l'hypothèse que les groupes d'experts rattachés à la supervision proposeront des pistes de réflexions plus en adéquation avec la réalité de la supervision.

L'atelier de créativité est découpé selon trois phases de travail. La première, permet d'accéder aux représentations personnelles des participants sur les thématiques successives de « système autonome » et « supervision ». Il ressort de ce premier traitement une génération d'idées fortement en adéquation avec les différents profils des participants. Les profils ingénieurs vont apporter des représentations très techniques quand les profils sciences sociales seront plus tournés vers le facteur humain ou l'expérience utilisateur.

La seconde phase évalue l'apport des synthèses des situations de références sur la génération de pré-concept de supervision. En comparant les générations d'idées des groupes ayant accès à des fiches récapitulatives des analyses d'activité des situations de références et des récits d'incidents critiques aux groupes contrôles (aucuns accès aux situations de références), nous identifions une plus forte proportion à discuter de la supervision des secteurs qui ne sont ceux des participants. Cela renvoie une forme d'ouverture d'esprit et de compréhension de la supervision dans sa globalité.

Enfin, la troisième phase amène les participants à proposer un concept de robot taxis le plus aboutit possible en intégrant la supervision et le facteur humain dans le système. Les différents groupes n'entrent pas dans le sujet de la même manière et les groupes constitués d'experts de la supervision propose plus d'idée concrètes tournée vers l'intégration de la supervision.

L'anticipation du facteur humain au sein du développement des systèmes inexistants implique la prise en compte de nombreux facteurs. L'ergonomie prospective présente des atouts pour apporter des éléments préliminaires de son intégration.

4. BIBLIOGRAPHIE

Bainbridge, L. (1983). The ironies of automation. Automatica, 19, pp 775-779. http://dx.doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8.

Daniellou, F. (1992) Le Statut de la Pratique et des Connaissances Dans L'intervention Ergonomique de Conception Document d'HDR, ISBN 2-913407-05-6 Bordeaux. *Editions du Laboratoire d'ergonomie des Systèmes Complexes, Université Victor Segalen Bordeaux 2.*

Endsley, M. R. (2017). From here to autonomy: lessons learned from human–automation research. Human factors, Vol. 59(1), pp. 5-27.

Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013) "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop? Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. https://doi.org/10.1177/1541931213571433.

Haué, J-B., Le Bellu, S., & Barbier, C. (2020). Le véhicule autonome : se désengager et se réengager dans la conduite. IA, robotique, automations : quelles évolutions pour l'activité humaine ? Activités [En ligne] - Open Editions Journals

Robert, J.-M., & Brangier, R. (2009). What Is Prospective Ergonomics? A Reflection and a Position on the Future of Ergonomics. In B.-T. Karsh (Ed.), *Ergonomics and Health Aspects* (pp. 162–169). Springer-Verlag

Norros, L, (2004) Acting Under Uncertainty-The Core-Task Analysis in Ecological Study of Work. VTT Publications, Espoo.

P2 : *Analyser la première impression d'un site web par la mesure des parcours oculométriques (eyetracking).*

Alexis Portevin & Guillaume Gronier

Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)

5 av. des Hauts Fourneaux

L-4362 Esch-sur-Alzette (Luxembourg)

a.portevin@live.fr ; guillaume.gronier@list.lu

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de poursuivre les travaux de validation scientifique de la méthode d'évaluation de l'expérience utilisateur (UX) baptisée « Test des cinq secondes ». Cette méthode se base sur les recherches sur la première impression et met en parallèle les théories de la formation d'impression et des modèles d'évaluation de l'UX. En demandant à 31 utilisateurs d'évaluer trois sites web de différents musées européens, les parcours oculométriques ont été enregistrés ainsi que leur impression générale à l'aide du questionnaire AttrakDiff. Les données collectées ont permis de dégager certaines caractéristiques de parcours visuels établis au cours des 5 premières secondes d'interaction.

MOTS-CLÉS

Première impression, oculométrie, test des cinq secondes, ergonomie des IHM, questionnaire AttrakDiff, expérience utilisateur.

1. CADRE THEORIQUE

Le test des cinq secondes est une méthode d'évaluation de la première impression d'une interface humain-machine (Gronier, 2016). Pour comprendre l'intérêt de cette méthode, il est intéressant de se pencher sur les origines des théories de la formation de la première impression en psychologie sociale. L'évaluation de la première impression entre humains a été longuement étudiée et de nombreuses théories ont pu démontrer notamment le rôle des attentes dans la formation de la première impression (Beauvois, 1982). Parmi celles-ci, on note la tendance à surévaluer les éléments allant dans le sens de notre première impression (Snyder et Swann, 1978). Concernant l'attractivité elle-même, l'expérience de Clifford (Clifford et Walster, 1973) démontrait déjà que l'attractivité constituait un biais de jugement, et qu'une mauvaise première impression tend à favoriser la généralisation attribuée à la valence de la première impression des autres caractéristiques d'une personne par un effet dit de halo.

Dans le cadre du modèle de l'expérience utilisateur de Thüring et Mahlke (2007), l'apparence du système, englobée par ce qu'ils dénomment les qualités non-instrumentales du système, comprennent tout ce qui a trait à l'esthétique d'une interface et qui aurait autant d'impact que les qualités instrumentales d'un système. Cette information, couplée à la description de la temporalité de l'expérience utilisateur démontrant que la phase d'orientation avec le système, donc les expériences initiales, peuvent exercer une force positive ou négative sur la perception du système (Karapanos et al., 2009), implique donc que la première impression joue un grand rôle dans la manière de percevoir le système pour l'utilisateur.

Allant dans ce sens, des chercheurs (Lindgaard et al., 2006) estiment qu'il suffit de 50 millisecondes à un utilisateur pour se former une première impression d'un système. Ces résultats ne sont cependant pas constants et d'autres chercheurs (Sheng et al., 2013) estiment à 2.66 secondes la formation d'une première impression. C'est une méthode intéressante qui manque cependant de consensus concernant sa méthode d'application et d'une réelle validation scientifique pour pouvoir démontrer pleinement son efficacité (Gronier, 2016).

2. PROBLEMATIQUE

Cette recherche a pour objectif de poursuivre la validation scientifique de la méthode « Test des cinq secondes », qui a pour vocation de recueillir la première impression des utilisateurs vis-à-vis d'une interface. Dans ce cadre, nous avons voulu d'une part analyser si, au cours de la formation de la première impression, les éléments hédoniques d'une page étaient perçus prioritairement par rapport aux éléments pragmatiques. D'autre part, nous avons souhaité dégager le temps nécessaire à la construction de la première impression, ainsi que les zones et les éléments de l'interface sur lesquels se construisaient la première impression.

3. METHODOLOGIE

3.1. Présentation générale de l'expérience

Le test réalisé lors de cette expérience, basé sur le test des cinq secondes, se présentait sous la forme d'une animation avec un compte à rebours puis l'affichage de la page d'accueil d'un site internet. Le premier affichage était la page d'accueil du site internet du National History Museum (codé C1), le deuxième affichage était la page d'accueil du site du Louvre (C2), le troisième affichage était la page d'accueil du site du National Gallery (C3). Les participants voyaient les trois sites avec un ordre de passage randomisé et devaient répondre au questionnaire AttrakDiff en version courte (Lallemand et al., 2015). Ils étaient équipés d'un oculomètre portable Tobii Glasses 2.

3.2. Participants

31 sujets ont participé à cette étude. Ils étaient sélectionnés de manière à s'assurer qu'aucun d'eux n'avait de problèmes de vue non corrigés à la normale et pouvant compromettre les résultats obtenus pour la recherche. L'information était demandée au moment du recrutement, puis une deuxième fois avant le début de l'expérience. L'échantillon était constitué de 10 femmes (32%) et 21 hommes (68%).

4. RESULTATS

4.1. Analyse de l'AttrakDiff

D'après les résultats obtenus, sur un score échelonné de -3 à +3 à l'AttrakDiff, les affichages C1, C2 et C3 obtiennent un score de qualité pragmatique respectif de .60, 1.51 et 1.29. Pour le score de qualité hédonique globale, les affichages C1, C2 et C3 obtiennent respectivement 0.60, 0.77, 0.44. Plus précisément, le score de qualité hédonique-identification, est, pour C1, C2 et C3 respectivement, de .95, 1.40 et .73. Aussi, le score de qualité hédonique-stimulation, est, pour C1, C2 et C3 respectivement, de .24, .14 et .16. Enfin, pour C1, C2 et C3 respectivement, le score d'attractivité perçue est de .90, 1.41 et 0.87.

Une matrice de corrélation de Pearson montre que le score de qualité pragmatique perçue (Score-QP) est très significativement corrélé au score d'attractivité perçue (Score-ATT ; $p < .001$), il est aussi significativement corrélé au score de qualité hédonique-identification (Score-QHI ; $p = .008$). De plus, le score de qualité hédonique-stimulation (Score-QHS) perçue est très significativement corrélé au score de qualité hédonique-identification ($p < .001$) ainsi qu'au score d'attractivité perçue ($p < .001$).

Enfin, le score de qualité hédonique perçue est très significativement corrélé au score d'attractivité perçue ($p < .001$).

Afin de vérifier si les différences observées étaient significatives, des tests statistiques ont été menés sur chaque catégorie de données :

- Pour la **qualité pragmatique perçue**, la différence entre les trois sites présentés est significative car $F(2, 90) = 5.116$ et $p = .008$. Ainsi, par exemple, C2 obtient un score de qualité pragmatique perçue significativement supérieure a C1.
- Pour la **qualité hédonique-stimulation perçue**, la différence entre les trois sites présentés n'est pas significative car $p = 0.954$.
- Pour la **qualité hédonique-identification perçue**, la différence entre les trois sites présentés est significative car $F(2, 90) = 3.093$ et $p = .05$. Ainsi, par exemple, C2 obtient un score de qualité hédonique-identification perçue significativement supérieure a C3.
- Pour **l'attractivité perçue**, la différence entre les trois sites présentés est faiblement significative car $F(2, 90) = 3.011$ et $p = .054$. Ainsi, par exemple, C2 obtient un score d'attractivité perçue significativement supérieure a C3.

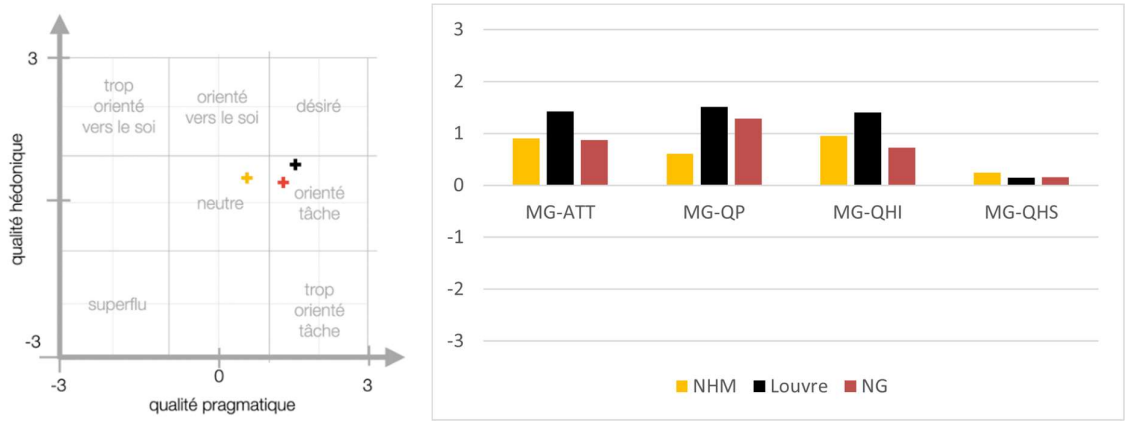


Figure 1 : A gauche, présentation portfolio du cumul des résultats de la perception de la qualité pragmatique et de la qualité hédonique comparée. A droite, histogramme présentant le détail des items QHS, QHI et ATT.

4.2. Analyse des données oculométriques

Dans un premier temps, les données issues de l'enregistrement avec l'oculomètre ont été filtrées. Les données ayant un pourcentage de captation du regard inférieur à 75% ont été exclues. Ainsi, 6 jeux de données supplémentaires ont été retirés, totalisant 24 jeux valides pour les analyses suivantes.

Dans un premier temps et pour les trois sites, des aires d'intérêt (AOI) ont été délimitées. Le menu de navigation (menu), les informations sur les expositions (expo) ainsi que le contenu artistique (art) ont été isolés. D'après les données extraites de l'analyse, il apparaît que le temps total de fixation dans les AOI pour C2 est en moyenne de 2.18s (sd = 1.61) pour l'AOI art, 2.7s (sd = 1.51) pour l'AOI expo et de 2.25s (sd = 1.21) pour l'AOI menu. Pour C3 il est en moyenne de 2.05s (sd = 1.83) pour l'AOI art, 6.03 (sd = 2.07) pour l'AOI expo et de 0.92 (sd = 0.74) pour l'AOI menu. Pour le NHS il est en moyenne de 1.56s (sd = 0.99) pour l'AOI art, 4.7s (sd = 1.44) pour l'AOI expo et de 2.5s (sd = 1.52) pour l'AOI menu (cf. Annexe 6.3.4). Il apparaît aussi que le nombre total de fixation dans les AOI de C2 est en moyenne de 6.5 (sd = 3.88) pour l'AOI art, 5.88 (sd = 2.42) pour l'AOI expo et 4.63 (sd = 2.68) pour l'AOI menu. Pour C3 on observe en moyenne 6.13 (sd = 3.38) pour l'AOI art, 5.46 (sd = 2.32) pour l'AOI expo et 0.75 (sd = 1.22) pour l'AOI menu. Pour le NHS le nombre moyen est de 4.04 (sd = 2.57) pour l'AOI art, 8.43 (sd = 3.44) pour l'AOI expo et 3.54 (et = 2.48) pour l'AOI menu (cf. Annexe 6.3.5).

Enfin, un dernier résultat montre que la durée totale de positionnement du regard dans les AOI de C2 se situe en moyenne à 2.48 (sd = 1.78) pour l'AOI art, 3.21 (sd = 1.61) pour l'AOI expo et 2.5 (sd = 1.55) pour l'AOI menu. Pour C3 elle est de 2.37 (sd = 2.01) pour l'AOI art, 6.27 (sd = 2.10) pour l'AOI expo et de 0.36 (sd = 0.67) pour l'AOI menu. Pour le NHS, la durée totale se situe en moyenne à 1.54 (sd = 1.07) pour l'AOI art, 5.04 (sd = 1.42) pour l'AOI expo et à 2.27 (sd = 1.67) pour l'AOI menu (figure 2).

Figure 2 : Représentation graphique par cartes ce chaleur de la durée totale de positionnement du regard sur les trois sites. Dans l'ordre C1, C2 et C3.

5. CONCLUSION

Les données issues de l'enregistrement par oculomètre démontrent que C3 ne met pas suffisamment en avant sa barre de navigation. En effet, la durée totale de positionnement du regard est disproportionnée par rapport aux informations sur les expositions. De plus, bien qu'occupant la majeure partie de l'écran, la partie Art ne reçoit qu'environ 26% du temps de positionnement du regard. Comparativement, C2 obtient des résultats plus équilibrés. De la même manière, C1 reçoit la majeure partie du temps de positionnement du regard sur la partie information de son interface, même si les différences sont moins marquées.

Ces résultats concordent avec l'impression générale obtenue par des commentaires oraux de participants, signalant une sensation de « vide » ou de « scène », marquant tous deux l'absence de contenu textuel et d'information. C2 semble avoir une exploration plus aléatoire comparativement a C3 et au NHS. En effet, l'écart-type à la moyenne du nombre de fixations est très élevé, ce qui indique des différences interindividuelles élevées dans la manière d'interagir avec le site internet. D'après les résultats statistiques au questionnaire AttrakDiff obtenus, il apparait que les sites pragmatiques sont perçus comme plus utiles et faciles à utiliser. Le portfolio établi permet d'orienter les pistes d'amélioration pour les différents sites internet. Pour NHS il faut retravailler les aspects pragmatiques et liés à l'utilisabilité. Pour tous il faut améliorer légèrement la qualité pragmatique des sites.

Des analyses complémentaires sur la fréquence d'utilisation de sites internet, voire un questionnaire sur l'intérêt général porté à l'art, permettrait peut-être d'expliquer les variations sur l'AOI art. C1 dispose d'une qualité pragmatique perçue, donc d'une utilité et une utilisabilité perçue trop faible. Cela pourrait s'expliquer par la trop forte quantité et dispersion des informations textuelles présentes sur la majorité de l'écran comparativement à la partie art.

Pour aller plus loin, il aurait été intéressant de comparer les mesures obtenues avec le test des cinq secondes pour comparer si les informations obtenues tendent plus vers les qualités hédoniques perçues des sites lors de la passation de ce dernier.

6. BIBLIOGRAPHIE

Beauvois, J. L. (1982). Théories implicites de la personnalité, évaluation et reproduction idéologique. *L'Année psychologique, 82*(2), 513-536.

Clifford, M. M., & Walster, E. (1973). The effect of physical attractiveness on teacher expectations. *Sociology of education*, 248-258.

Gronier, G. (2016). Measuring the First Impression: Testing the Validity of the 5 Second Test. *Journal of Usability Studies, 12*(1).

Karapanos, E., Zimmerman, J., Forlizzi, J., & Martens, J. B. (2009, April). User experience over time: an initial framework. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 729-738).

Lallemand, C., Koenig, V., Gronier, G., & Martin, R. (2015). Création et validation d'une version française du questionnaire AttrakDiff pour l'évaluation de l'expérience utilisateur des systèmes interactifs. *European Review of Applied Psychology, 65*(5), 239-252.

Snyder, M., & Swann, W. B. (1978). Hypothesis-testing processes in social interaction. *Journal of personality and social psychology, 36*(11), 1202.

Thüring, M., & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International journal of psychology, 42*(4), 253-264.

P3 : Vers des environnements capacitants pour la cybersécurité : Proposition d'un cadre de recherche adapté.

Ayoub Bourhim, Laurent Guillet, Julie Lassalle, Christine Petr

Laboratoire des sciences et techniques de l'information, de la communication et de la connaissance ; Humain

Laboratoire d'Économie et de Gestion de l'Ouest ;

Université Bretagne Sud ;

ayoub.bourhim@univ-ubs.fr

laurent.guillet@univ-ubs.fr

julie.lassalle@univ-ubs.fr

christine.petr@univ-ubs.fr

RÉSUMÉ

La cybersécurité est un des défis de l'industrie moderne avec le développement de la technologie et d'internet au cours des dernières années. L'humain est souvent caractérisé par les experts de la cybersécurité comme le « maillon faible » de la chaîne de la cybersécurité. Ce postulat se base sur le paradigme de « L'erreur humaine » qui suppose que les failles de sécurité seraient principalement dues aux facteurs individuels. Cependant la littérature montre que les contraintes liées au travail ainsi que la nature de l'environnement ont un poids important sur l'individu et les risques cyber, remettant en cause le paradigme de « l'erreur humaine ». Afin de pallier aux risques cyber, les organisations ont tendance à investir dans des solutions techniques ou à mettre en place des politiques visant à contrôler l'individu. Ce papier propose une approche systémique et dynamique de la cybersécurité dans l'objectif d'amener à un questionnement sur les éléments permettant la mise en place d'environnement capacitants pour la cybersécurité.

MOTS-CLÉS

Cybersécurité, Environnements capacitants, Risque, Acteurs, Organisation

1. INTRODUCTION

Avec la démocratisation d'internet au cours des dernières années, la question de la cybersécurité est devenue primordiale dans le domaine de l'industrie, dans notre vie professionnelle et privée. La cybersécurité peut être définie comme « l'ensemble des processus, capacités ou états par lesquels les systèmes d'information et de communication ainsi que les informations qu'ils contiennent sont protégés et/ou défendus contre les dommages et les exploitations et modifications non autorisées. » (Notre traduction de la définition du NICCS, 2022). Alors que le monde économique et industriel est en pleine transition vers un modèle connecté avec l'industrie 4.0 (Lezzi et al., 2018), le nombre

d'entreprises en France ayant subi au moins une cyber-attaque s'élève à 45% (rapport de 2023 du CESIN). De plus, un rapport publié par McAfee (Smith et al., 2020) estime le coût global de la cybercriminalité entre 2018 et 2020 à 1 trillion de dollars. Cependant, afin de mieux gérer les risques cyber, la plupart des organisations favorisent des solutions techniques plutôt que d'investir dans le développement des compétences humaines. Les individus utilisateurs sont souvent considérés comme « le maillon faible » de la chaîne de la cybersécurité (Mouchoux, 2021). L'objectif de cette recherche est de contribuer à la mise en place d'environnement capacitant pour la cybersécurité. Le but est de faire de l'humain un atout pour l'organisation dans la gestion des risques cyber plutôt qu'un potentiel de dysfonctionnements au vu de ses usages effectifs du numérique.

Pour préciser les cadres analytiques à considérer, dans un premier temps, les facteurs individuels à l'origine de la prise de risque chez les personnes utilisatrices seront détaillés. Dans un second temps, les déterminants contextuels et situationnels des risques cyber au sein de l'organisation seront abordés. Enfin, dans un troisième temps, l'approche envisagée pour la recherche sera développée.

2. LES FACTEURS INDIVIDUELS CONDUISANT À UN RISQUE CYBER

Il existe plusieurs facteurs pouvant favoriser la prise de risque à un niveau individuel :

- Le biais de surconfiance se caractérise par un niveau de confiance inadapté envers ses propres compétences et les capacités de la structure d'appartenance en matière de cybersécurité (Cain et al., 2018; De La Garza et al., 2022);
- La dilution de la responsabilité concerne le fait de ne pas intervenir lorsqu'un événement négatif survient en considérant qu'il n'est pas de notre responsabilité d'agir ou qu'une autre personne va intervenir. Dans le cadre de la cybersécurité, cela peut être par exemple une personne employée qui ne signale pas la réception d'un mail frauduleux estimant que cette action n'est pas de son ressort ;
- L'impression de crédibilité de l'émetteur et du message : des études ont montré que les êtres humains sont très sensibles à la crédibilité de l'émetteur (De La Garza et al., 2022) Ainsi, un hacker va chercher à exploiter cette sensibilité par une vigilance accrue au niveau de crédibilité de son attaque, par exemple, via des mails imitant ceux d'organisations connues pour inciter l'individu à cliquer sur un lien frauduleux.

Pour une revue exhaustive des relations entre biais cognitifs et cybersécurité, voir Wang et al., 2021.

Ces différents biais et heuristiques ne doivent toutefois pas être considérés comme des problèmes en soi. En effet, ces stratégies existent dans le but d'alléger la charge mentale des individus afin qu'ils puissent fonctionner de façon optimale et contribuent ainsi à notre bien-être Dans le cadre de la cybersécurité, ce sont précisément ces moments de surcharge cognitive, pendant lesquels les biais mentionnés s'activent pour la réduire, que les attaquants vont exploiter pour mener à bien leurs actions malveillantes. Par exemple, les attaquants visent les heures de pointe pour envoyer des mails frauduleux (De La Garza et al., 2022). Ce type de techniques de manipulation est répandu.

3. LES DÉTERMINANTS CONTEXTUELS ET SITUATIONNELS DES RISQUES CYBER

L'environnement et les conditions de travail ont également un impact important sur les ressources cognitives des individus pour prendre des décisions adaptées et sur leur perception des risques. La surcharge de travail chez les personnes employées peut entraîner une surcharge cognitive et donc favoriser les comportements à risques (Kadena & Gupi, 2021). De la Garza et al. (2022) mettent en avant l'effet de la pression temporelle sur les pratiques en cybersécurité. Cette pression est à l'origine d'émotions négatives chez les personnes employées et génère du stress, de l'anxiété et une peur de l'échec. Les personnes employées sont donc plus susceptibles d'être moins vigilantes et de contourner

les politiques de sécurité afin d'atteindre leurs objectifs. Triplett (2022) montre que la charge de travail non planifiée (c'est-à-dire celle qui se rajoute au plan de travail déjà établi) est un facteur de risques en matière de cybersécurité. Cette littérature sur le poids de l'organisation et des contraintes de travail remet en cause le paradigme de l'erreur humaine comme variable clef du risque cyber où l'humain est considéré comme la source principale des brèches de sécurité en cybersécurité.

En plus des contraintes liées à l'environnement et aux conditions de travail, l'organisation de l'entreprise, sa méthode de communication sur la gestion des risques, et la communication entre les différents groupes d'acteurs sont des éléments qui peuvent fragiliser la sécurité numérique de l'entreprise. La façon dont l'organisation va communiquer sur la cybersécurité est aussi un facteur à prendre en compte. Beaucoup d'entreprises se reposent sur un système basé sur la sanction. Des études ont montré que cela pousse les personnes employées à cacher leurs erreurs plutôt qu'à les rapporter dans une visée d'amélioration collective (Danet, 2021). Pour rappel, il existe globalement un manque d'investissement de la part des entreprises dans la formation des individus utilisateurs (Triplett, 2022). Cela ne participe pas à créer des environnements de travail favorables au développement des connaissances des personnes employées et à des usages numériques adaptés du point de vue de la cybersécurité.

Enfin, la cohésion au sein de l'organisation et la qualité des échanges entre les différents groupes d'acteurs à un impact sur le niveau de cybersécurité. Une communication et des politiques de cybersécurité émises par la gouvernance de l'organisation qui ne prennent pas en compte les besoins des personnes employées et ceux de leur activité peuvent être contraignantes du point de vue de la tâche à réaliser ou ne pas être acceptées. *In fine*, elles peuvent conduire à des comportements à risques (Moustafa et al., 2021) parce qu'elles vont potentiellement entraver le travail des personnes employées.

4. L 'APPROCHE DE LA RECHERCHE : MODÈLES STRUCTURANTS ET CONCEPTUALISATION POSITIVE DU FACTEUR HUMAIN

Pour répondre à la problématique du **développement des compétences en cybersécurité des individus et des organisations**, le choix se porte d'une part sur une approche systémique dans laquelle l'ensemble des parties prenantes de la cybersécurité d'une organisation sont intégrées, et d'autre part, sur le facteur humain envisagé de manière positive comme une ressource. Dans cette perspective, **l'humain n'est plus considéré comme un facteur, mais comme un acteur de son environnement et de son activité.**

Concernant l'humain, deux postulats se dégagent dans la littérature. Le premier postulat considère l'humain comme une source de défaillance et cherche à y remédier par des solutions techniques. Cette approche est réductrice car elle n'intègre pas le poids de l'organisation et des facteurs systémiques, est centrée sur la défaillance et passe par l'imposition de droits selon des niveaux de sécurité. Elle est très répandue chez les ingénieurs qui ont tendance à considérer l'individu utilisateur comme la principale source de problème, illustrée par l'adage « Le problème se trouve entre le clavier et la chaise. » (Dejours, 2022 ; Mouchoux, 2021). Le second postulat est celui qui adopte à l'inverse une vision du développement des compétences et des ressources des individus comme une solution aux problématiques de cybersécurité. **L'objectif est alors de développer la compétence et l'autonomie des individus par la proposition d'environnements** qui développent les possibilités d'action des individus dans le domaine plutôt que de sanctionner et contraindre. La sécurité dans ce modèle est une conséquence des conditions de réalisation de l'activité au sens où si un individu utilisateur à une meilleure maîtrise de l'outil et évolue dans un environnement lui permettant de faire usage de ses compétences, alors le risque d'incidents s'en trouve réduit (Dejours, 2022; Raspaud & Falzon, 2020).

Dans ce contexte, nous proposons de nous appuyer sur des modèles structurants de la sécurité. Il existe dans la littérature sur la sécurité un concept similaire au paradigme de l'erreur humaine, « l'attribution excessive de la cause des accidents aux opérateurs de première ligne » (Amalberti, 2013). Pour y pallier plusieurs modèles prenant en compte la « chaîne d'erreurs » ont été avancés notamment le modèle des dominos de Heinrich (1931) ou encore le « Swiss Cheese Model » de Reason (2000). Ces modèles présentent déjà une vision systémique de la sécurité, c'est-à-dire qui repose sur les différentes composantes de l'organisation. Cependant ils restent très linéaires et ne prennent pas en compte les interactions que les différents éléments de la structure ont les uns sur les autres. Ces modèles se concentrent sur les failles de chacune des parties dans une approche « bottom up » de la sécurité, ce qui peut être considéré comme obsolète dans le cas de la cybersécurité qui est dynamique de nature. (Amalberti, 2013). Dans le cas de la cybersécurité on préfèrera un modèle comme celui de LeCoze (2013a, 2016) qui prend en compte les interactions entre les différentes parties prenantes de la structure (ainsi que les influences extérieures) à différents niveaux d'interactions.

Combinant une approche systémique et dynamique du risque et de la sécurité et un postulat du facteur humain comme une ressource (acteur humain), l'ambition est ici **de déterminer comment contribuer à la conception d'environnements capacitants au service de l'amélioration de la cybersécurité** au sein des organisations. Les environnements capacitants peuvent être entendus comme des environnements de travail permettant au personnel de développer et d'exploiter leurs compétences (Raspaud & Falzon, 2020). Pour répondre cette problématique, nos premiers objectifs de recherche visent à **identifier les éléments favorisant** le développement d'environnements de travail favorables à l'accroissement des compétences cyber des individus, à savoir :

- **Au niveau des individus** : Quelles sont les caractéristiques de la perception du risque cyber et les stratégies individuelles de prise de décision qui expliquent l'acquisition de compétences cyber ?
- **Au niveau de l'organisation** : Quels sont les éléments organisationnels, qu'il s'agisse du fonctionnement et de la communication interne de l'employeur, qui contribuent à l'accroissement des compétences cyber de ses employés ?
- **Comment une coopération entre ses différents éléments peut favoriser le développement des compétences des individus en cybersécurité ?**

5. BIBLIOGRAPHIE

Amalberti, R. (2013). Piloter la sécurité. https://doi.org/10.1007/978-2-8178-0369-2

Bailey, T., Kolo, B., Rajagopalan, K., & Ware, D. (2019). *Perspectives on transforming cybersecurity*

(Digital McKinsey and Global Risk Practice).

Cain, A. A., Edwards, M. E., & Still, J. D. (2018). An exploratory study of cyber hygiene behaviors and knowledge. *Journal of Information Security and Applications*, *42*, 36-45. https://doi.org/10.1016/j.jisa.2018.08.002

Danet, D. (2021). *Punish and Perish : The Human Factor in Cybersecurity*. 8.

De La Garza, C., Stoessel, C., & Oufi, N. (2022). *Prise en compte des Facteurs Organisationnels Humains en cybersécurité : Aller au-delà de l'erreur humaine*. 42ème Congrès Lambda Mu de l'IMdR, EDF Lab Paris Saclay.

Dejours, C. (2022). *Introduction: Vol. 8 éd.* (p. 6-22). Presses Universitaires de France.

Glossary | NICCS. Consulté 2 février 2023, à l'adresse https://niccs.cisa.gov/cybersecurity-career-resources/glossary

Kadena, E., & Gupi, M. (2021). HUMAN FACTORS IN CYBERSECURITY : RISKS AND IMPACTS. *Security Science Journal*, *2*(2), Art. 2.

Le Coze, J.-C. (2016). *Trente ans d'accidents : Le nouveau visage des risques sociotechnologiques*. Octarès éditions.

Lezzi, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2018). Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature : A reference framework. *Computers in Industry*, *103*, 97-110.

https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.09.004

Mouchoux, R. (2021, septembre 17). The H-Factor : Turning Human Into The Strongest Link Of Your Cybersecurity Strategy. *Conquer Your Risk*.

Raspaud, A., & Falzon, P. (2020). De Sen à la pratique ergonomique : Conditions et moyens pour une intervention ergonomique capacitante. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, *22-1*, Art. 22-1. https://doi.org/10.4000/pistes.6753

Reason, J. (2000). Human error : Models and management. *BMJ : British Medical Journal*, *320*(7237), 768-770.

Smith, Z. M., Lostri, E., & Lewis, J. A. (2020). *The Hidden Costs of Cybercrime*. 38.

Triplett, W. J. (2022). Addressing Human Factors in Cybersecurity Leadership. *Journal of Cybersecurity and Privacy*, *2*(3), Art. 3. https://doi.org/10.3390/jcp2030029

Wang, Z., Zhu, H., & Sun, L. (2021). Social Engineering in Cybersecurity : Effect Mechanisms, Human Vulnerabilities and Attack Methods. *IEEE Access*, *9*, 11895-11910. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051633

P4 : *Un modèle descriptif de la confiance en tant que composante invisible de l'ergonomie.*

Laurent Chaudron, Lisa Chouchane & Jean-Paul Mizzi

Theorik-Lab & CREA, laurent.chaudron@polytechnique.org

Armée de l'air et de l'espace, lisa.chouchane@gmail.com

Université Gustave-Eiffel, jean-paul.mizzi@univ-eiffel.fr

RÉSUMÉ

Le travail proposé dans le présent article vise à expliciter les invariants qualitatifs du concept de confiance dans les relations entre un opérateur humain et les agents naturels ou artificiels avec lesquels il coopère au sein d'un système socio-technique complexe. Dans une démarche de théorie ancrée autour d'un corpus d'événements complété par des entretiens experts, un modèle conceptuel générique de la confiance a été conçu puis réinjecté dans une enquête en ligne assortie d'un simulateur sommaire visant à en ajuster les éléments. Le modèle issu de cette première étape permet de construire des recommandations pertinentes à la fois pour les concepteurs des dispositifs d'assistance dans leurs principes ergonomiques mais aussi symétriquement aux formateurs des opérateurs de ce type de systèmes.

MOTS-CLÉS

Confiance, Agents, Risque, Décision, Mission.

1. INTRODUCTION

Tout conducteur d'automobile ou de train, tout pilote d'aéronef ou d'engin complexe peut désormais déléguer totalement ou partiellement sa conduite à divers automatismes : régulateurs, pilotes automatiques, voire voitures autonomes … et ce, en disposant de différents assistants informatifs ou actifs des plus simples (gps) aux plus sophistiqués (guidage intelligent, assistance aux manœuvres …) Il en découle que la problématique de la confiance que place la personne opérant un tel système dynamique dans la palette de ses sous-systèmes, effecteurs ou capteurs, devient prégnante, sachant qu'elle reste à bien des égards, invisible.

Si la littérature académique est en très rapide expansion sur la question de la confiance (une moyenne de 4 millions d'entrées sur les moteurs de recherche), sa problématique opérationnelle se pose de manière saillante dans tous les compartiments des organisations humaines : fake-news, cyber-activisme, manipulations, block-chains, réalités augmentées, mixtes … le domaine aérospatial (Bollon *et al.* 2019) étudie massivement cette composante cruciale par exemple pour la conception des nouveaux cockpits mais aussi pour l'ensemble des systèmes aéroterrestres.
Le domaine de la vie courante est tout autant envahi par cette problématique de la confiance : l'expérience triviale de l'agacement que génèrent les bavardages imposés par tel assistant d'une automobile prétendue intelligente interpelle les meilleures volontés des concepteurs de ces systèmes car en actes, l'opérateur peut ne souhaiter rien de plus que l'exécution de sa requête et son acquittement. La confiance que porte alors l'utilisateur dans ce système en vient à se déliter au fur et à mesure des ajouts de messages jugés inopportuns (Endsley 2017). À l'inverse, le leader d'une mission opérationnelle voit la confiance qu'il place en tel collaborateur humain se dégrader si ce dernier ne

répond que de manière mécanique à ses requêtes, car il est attendu de sa part des compléments, des arguments utiles au succès de l'opération (Chouchane 2022)… Entre ces deux situations prolifèrent aujourd'hui de nouveaux agents : les systèmes dits intelligents, ou « à base d'IA », : telle application de smartphone peut expliquer, voire partiellement proposer des éléments utiles aux objectifs de l'utilisateur. Un réel **continuum** de systèmes est donc désormais quasiment imposé pour toutes sortes d'actions et leur conception multiplexée se révèle donc un défi ergonomique tant la composante « confiance » s'affiche comme un invariant dimensionnant, dans une approche que Endsley (2017) notamment avait initiée. Les bouleversements générés fin 2022 par les performances des LLMs (Large Language Models, comme ChatGPT) rendent présomptueux de chercher à fixer une définition des différences entre les systèmes purement automatiques et les systèmes dit 'intelligents' (Langer *et col.* 2022), ce qui s'inscrit dans le paradigme du monde continu (Chaudron 2017). En se plaçant au-dessus de cette question et afin de procurer un cadre descriptif permettant de capturer le continuum systèmes naturels-artificiels, une approche centrée "agent" a été adoptée selon une modélisation générique **TorTeeX** : un agent (le plus souvent humain) doit, à un moment donné, effectuer une action en collaborant avec d'autres agents (humain ou artificiels). Le modèle mathématique TorTeeX (dont les développements formels ne sont pas détaillées ici) définit tout d'abord un ensemble d'agents $\boldsymbol{A} = \{A_i,\ _{i\in[1,N]}\}$ et un ensemble de relations, notamment celle, $\boldsymbol{Trust}(A_1,A_2,T,X,v)$ (voir plus loin) qui établit la confiance selon un réseau orienté et dynamique.

2. METHODOLOGIE

Le projet de quatre mois s'est appuyé sur le domaine applicatif des déplacements (les dites « nouvelles mobilités ») selon les différentes modalités : fer, route, mer, air[24]. Après un classique état de l'art, la démarche a consisté à developper une méthode qualitative en théorie ancrée (Oktay 2012) selon un cycle incrémental entre les données de terrain et la construction du modèle et de ses principes. L'ensemble est ainsi constitué de : - 60 événements, incidents ou accidents analysés ; - 6 entretiens d'experts sécurité du domaine opérationnel concerné ; - 80 sujets ayant répondu à une enquête en ligne ; - 1 simulateur sommaire en Simulink. Il doit être noté que dans le présent article, aucun élément relatif - aux événements analysés (base de données accidents de l'UGE), - aux connaissances fournies par les experts opérationnels (accidentologues, opérationnels des forces), - ni aux sujets de l'expérience en ligne, ne sont explicités. Dans la mesure de la désidentification effectuée, les composantes essentielles y sont détaillées dans (Chouchane 2022).

3. SYNTHESE DE L'ETUDE

La question de la définition même de la confiance représente une très forte activité multidisciplinaire (PytlikZillig & Kimbrough 2016) souvent sujette à controverses et désormais, l'incontournable définition de Lee et See (2004) ne résiste plus au continuum naturel-artificiel. La définition de travail adoptée dans la présente étude est la suivante :

Définition : un agent, le ***Trustor*** engagé au temps ***T*** dans une action ***X***, caractérisée par des risques et enjeux, doit coopérer avec d'autres agents, les ***Trustees***.

La <u>confiance</u> est donc par définition une <u>fonction cognitive du Trustor dépendant de *T* et de *X* envers chaque Trustee</u>, et dont la valeur module ses décisions.

Dans son expression prédicative : $\boldsymbol{Trust(Tor,Tee,T,X,}value\boldsymbol{)}$

La synthèse des études de cas et des analyses expertes a permis de postuler trois principes :

[24] Cet ordre est significatif : il correspond à la caractéristique géométrique intrinsèque de la mobilité : dimension 1 pour le ferroviaire, 2 pour la route et la mer, 3 pour l'air (et l'espace).

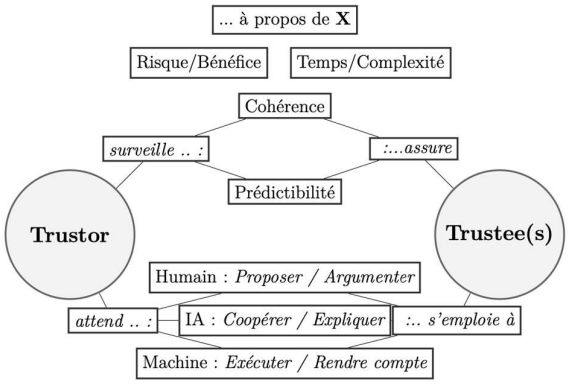
1. La confiance est un concept ***orienté*** et ***centré-agent*** car il faut distinguer croyance et confiance : on peut croire ou non une information mais on fait confiance ou non à un agent (une personne, une source) et ce, selon une caractéristique précise relative à l'action en cours ;

2. La problématique de la confiance émerge lorsque qu'une différence (voire une dissonance) c***entrée-données*** apparaît : dans les situations où toutes les données sont cohérentes et consistantes la question de la confiance n'émerge pas ;

3. La confiance est un mécanisme ***méta-cognitif*** : dans la cognition du Trustor, la confiance ne concerne pas le traitement de l'information à un niveau standard mais bien une réflexion qu'il mène sur ses propres traitements.

Ces principes ont permis le cycle d'ancrage des analyses pour la construction théorique du modèle descriptif de la confiance, résumé par le schéma suivant :

Figure 1 : Modèle TorTeeX



Partie haute du schéma : dans toutes les situations analysées il est apparu que les caractéristiques de la mission (ou de l'action) X sont au temps T fondamentalement dimensionnantes dans l'intensité de la composante confiance du Trustor : la complexité de l'action, la pression temporelle, le rapport risque/bénéfice sont les facteurs saillants, notamment explicités dans les verbalisations des sujets (Principe 3). Le Trustor voit sa fonction cognitive de confiance envers ses Trustees (Principe 1) évoluer selon la qualité de leurs « productions » (Principe 2) : les données sont-elles cohérentes entre elles (au temps T) ? et quelle est la valeur de leur consistance selon la dimension temporelle passée ou à venir ? En termes formels : la fonction cognitive *confiance* du Trustor est une fonction croissante de la cohérence globale, spatiale et temporelle, des productions des Trustees. Ensuite, outre la pression temporelle relative au temps T, ce sont les composantes de l'action X qui se déclinent sur chaque trustee : par exemple, *Tor* accorde ainsi sa confiance au trustee Tee_1 uniquement pour ce qui relève de la gestion du temps, et au trustee Tee_2 pour la recherche documentaire et ce, sans commutativité.

La partie inférieure du schéma explicite les attentes du Trustor selon les types de Trustees :

- un simple automatisme assure confiance s'il exécute la consigne et s'il rend compte de cette exécution ;

- un système plus sophistiqué, par exemple à base d'IA, est censé outre l'exécution, offrir des options de coopération (variantes de solutions …) et une capacité à expliquer ;

- enfin un Trustee humain, outre les fonctions de base précédente, inspire confiance s'il est capable d'aider par ses propositions voire ses argumentations.

Comme cela a été abordé précédemment, les composantes du contexte au temps T par la mission X se révèlent déterminantes pour la sélection des Trustees et leur évaluation par le Trustor ; ainsi, il ressort des analyses les tendances suivantes :

- une situation urgente et standardisée peut inciter le Trustor à choisir un automatisme (sans que le biais d'automatisation puisse être invoqué) ;
- en revanche, une action complexe requérant une capacité à démontrer, expliquer peut inciter le Trustor a choisir un agent cognitivement riche, humain ou à défaut IA, pour agir.

La cohérence du modèle TorTeeX a été éprouvée d'une part relativement aux échelles de Parasuraman et Sheridan (2000) et d'autre part les maximes conversationnelles des dialogues coopératifs (Grice 1975).

4. CONSEQUENCES ET PERSPECTIVES

Dans le cadre de la conception ergonomique d'un environnement de conduite de systèmes, le modèle TorTeeX vise à contribuer non seulement à sérier les exigences de conception relatives aux différents agents ou sous-systèmes selon les caractéristiques de chaque action ou mission, mais aussi enrichir la formation des Trustees (*s'attache à …*) et des décideurs-Trustors (*surveille …*).

La problématique de la confiance en soi est capturée dans le modèle par le cas particulier de l'égalité *Trustee=Trustor*.

Le développement mathématisé du modèle multi-agent TorTeeX se poursuit dans un cadre logico-algébrique visant notamment à représenter la dynamique de la fonction cognitive 'confiance' du Trustor et donc ses propriétés prédictives.

Enfin, deux problématiques à la fois conceptuelles, méthodologiques et pragmatiques ont émergé de cette première phase. On constate tout d'abord que la *mesure* ou au moins l'évaluation de la confiance d'un Trustor (y compris le paramètre de ses inclinations, largement étudié sous le vocable de 'propensity to trust') résiste à être appréhendée de manière objective. En effet, tout comme maints autres traits non mesurables directement par le comportement, les études reposent le plus souvent sur une valeur subjective continue ou discrète donnée par le sujet Trustor lui-même à propos d'un Trustee (ce qui confirme au passage le caractère méta-cognitif du processus de la confiance[25]). Il existe toutefois une piste prometteuse (CEAM Mont-de-Marsan) fondée sur l'analyse séquentielle d'actions critiques du Trustor.

Le second paradoxe qui émerge de la - pourtant abondante - littérature réside dans la proportion quasi-négligeable de travaux qui ont pris en compte les *verbalisations* des Trustors et des Trustees ; cela se confirme au travers la rareté de l'apparition du mot 'confiance' ou 'trust' lui-même dans ces verbatims. Cette piste langagière et déductive fait également l'objet des travaux en cours.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bollon, F., Marchand, A. L., Maille, N., Blättler, C., Chaudron, L., & Salotti, J. M. (2019, October). Interpersonal trust to enhance cyber crisis management. *In HFES-Europe 2019-Human Factors and Ergonomics Society, Europe Chapter.*

Chaudron, L. Metacognition and the Continuous World paradigm. In: *Intl. NATO Conference on Artificial Intelligence, Autonomy, Delegation and Responsibility*. NATO S&T. Bordeaux, France, June 21, 2017.

[25] plus exactement : processus métacognitif à temps différé.

Chouchane, L. (2022). Trust Mobilities Teaming. *Mémoire de master, École de l'air et de l'espace - Université Gustave Eiffel*. 90p.

Endsley, M. R. (2017). Autonomous driving systems: A preliminary naturalistic study of the Tesla Model S. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, *11*(3), 225-238.

Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In *Speech acts* (pp. 41-58). Brill.

Langer, M., König, C. J., Back, C., & Hemsing, V. (2022). Trust in Artificial Intelligence: Comparing trust processes between human and automated trustees in light of unfair bias. *Journal of Business and Psychology*, 1-16.

Lee, J. D., & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, *46*(1), 50-80.

Oktay, J. S. (2012). *Grounded theory*. Oxford University Press.

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, *30*(3), 286-297.

PytlikZillig, L. M., & Kimbrough, C. D. (2016). Consensus on conceptualizations and definitions of trust: Are we there yet?. *Interdisciplinary perspectives on trust: Towards theoretical and methodological integration*, 17-47

P5 : *Relation entre le degré de ressemblance humaine et le sentiment d'étrangeté suscité par des robots.*

Pierre Thérouanne, Simon Barbarin & David Dayle

LAPCOS, Université Côte d'Azur, pierre.therouanne@univ-cotedazur.fr

LAPCOS, Université Côte d'Azur, simon.barbarin@etu.univ-cotedazur.fr

PErSEUs, Université de Lorraine, dayle.david@univ-lorraine.fr

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif de tester l'hypothèse d'une relation complexe, non linéaire, entre le degré de ressemblance de robots avec les humains et le sentiment d'étrangeté éprouvé par les personnes qui y sont confrontés. Les résultats montrent que lorsque les robots ressemblent aux êtres humains, mais pas suffisamment, ils suscitent un sentiment important d'étrangeté.

MOTS-CLÉS

Fournir cinq mots-clés séparés par des virgules

1. INTRODUCTION

Selon Mori (1970, voir Mori et al., 2012), l'affinité avec un robot augmente avec son apparence humaine jusqu'à un certain seuil qualifié de « vallée de l'étrange ». L'affinité envers les robots est alors réduite du fait du sentiment d'étrangeté qu'ils suscitent. Cependant, lorsque l'apparence humaine du robot continue d'augmenter jusqu'à être presque indiscernable de l'être humain, le sentiment d'affinité revient. La littérature propose des explications assez diverses de cette vallée de l'étrange (voir Zhang et al., 2020, pour une revue). Dans une perspective évolutionniste, elle pourrait provenir du souhait d'éviter les individus présentant des caractéristiques peu attractives, suscitant un sentiment de dégoût, ou nous rappelant notre mortalité. Une seconde catégorie d'explications concerne les conflits cognitifs pouvant provenir de l'écart entre ce qui est perçu et ce qui est attendu ou de la difficulté à catégoriser ce qui est perçu. Néanmoins, la mise en évidence empirique de cette vallée de l'étrange est manifestement encore fragile (voir également Zhang et al., 2020) et nous présentons ici une première étude visant à réaliser un nouveau test de cette hypothèse.

2. METHODE

2.1. Participants

Un total de 106 personnes a commencé à participer à l'étude, et les réponses des 71 participants ayant répondu à la totalité des questions ont été retenues pour l'analyse. L'échantillon se composait de 47 femmes et de 24 hommes, âgé.es de 20 à 55 ans (M = 27.41 ; ET = 10.07).

2.2. Matériel

Les photos de robots utilisées dans l'expérience ont été extraites de la base de données ABOT (Anthropomorphic roBOT, Phillips et al., 2018, https://www.abotdatabase.info, version : 2019.04.09). Cette base de données propose, pour plus de 200 photos de véritables robots, un score de ressemblance humaine compris entre 0 et 100 issus de jugements empiriques. Nous avons sélectionné

21 robots de sorte que leur score de ressemblance humaine – ou degré d'anthropomorphisme –, compris entre 4.52 et 96.95 augmente approximativement de 5 points à chaque robot.

Pour mesurer le degré d'étrangeté éprouvé par les participants, les items de la dimension d'étrangeté (« effrayant », « dérangeant », « bizarre » et « étrange ») de l'échelle Human–Robot Interaction Evaluation Scale (HRIES) développée par Spatola et collaborateurs (2021) ont été présentés.

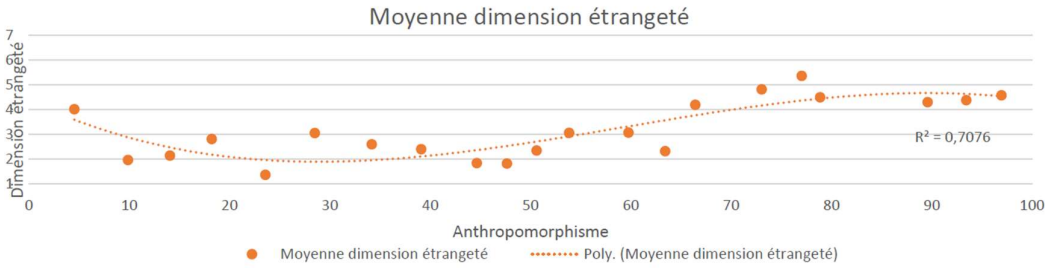
2.3. Procédure

L'étude a été réalisée en distanciel à l'aide de la plateforme Qualtrics et est demeurée accessible aux participants pendant 4 semaines. Les participants ont été sollicités par courriel, à l'aide de plusieurs réseaux sociaux, et par voie d'affichage sur le campus de l'Université. L'étude commençait par la lecture de la notice d'information et le recueil du consentement à participer à l'étude.

Puis, les 21 photos des robots étaient présentées une par une dans un ordre aléatoire et différent pour chaque participant. En dessous de chaque photo étaient présentés les 4 mots « effrayant », « dérangeant », « bizarre » et « étrange ». Les participants avaient pour consigne d'indiquer, pour chacun des mots, « dans quelle mesure vous associez le mot au robot présenté ci-dessus ? » sur une échelle de 1 correspondant à « pas du tout » à 7 correspondant à « totalement ».

3. RESULTATS

Le score d'étrangeté a été obtenu par la moyenne des scores des 4 adjectifs dans la mesure où l'Omega de McDonald (ω) était égal à .931. Nous avons réalisé dans un premier temps une analyse de variance à mesures répétées prévue par hypothèse selon le plan $S_{71} * R_{21}$, dans lequel les lettres *S* et R renvoient respectivement aux facteurs Sujet (source de variation aléatoire) et Score de ressemblance humaine du robot, avec comme variable dépendante le score d'étrangeté. Le test de Mauchly étant significatif ($p < .001$), la sphéricité n'est pas respectée. Ainsi, la correction de Greenhouse-Geiser a été appliquée d'où l'ajustement des degrés de liberté ($\varepsilon = .48$). Le degré de ressemblance humaine des robots exerce un effet significatif et notable sur le score moyen d'étrangeté, $F(9.65, 675.52) = 66.2$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.37$. De plus, la comparaison des 3 modèles testés montre que le modèle de régression avec un polynôme de 3ème degré, présenté dans la Figure 1, présente un r^2 (.78) supérieur à celui du modèle quadratique ($r^2 = 0.57$) et à celui du modèle linéaire ($r^2 = 0.44$).



<u>Figure 1 :</u> Score moyen d'étrangeté en fonction du score de ressemblance humaine du robot (points) et courbe obtenue par le polynôme du 3ème degré (en pointillé).

4. DISCUSSION

Les résultats de l'étude confirment que la relation entre le degré de ressemblance humaine et le sentiment d'étrangeté suscité par un robot est complexe, c'est-à-dire non linéaire, et confortent partiellement l'hypothèse de la vallée de l'étrange. En effet, avec l'augmentation du score de ressemblance humaine, le score d'étrangeté diminue dans un premier temps, puis augmente pour atteindre la valeur la plus élevée, puis semble amorcer de nouveau une diminution. Néanmoins cette

dernière diminution du sentiment négatif – ici d'étrangeté – pour les robots présentant les scores de ressemblance les plus élevés ne semble pas suffisamment prononcée pour que l'on puisse affirmer qu'il existe un seuil de ressemblance humaine à partir duquel le sentiment d'étrangeté disparaîtrait. Aussi, il n'est pas exclu que, contrairement à ce que conjecturait Mori (1970), l'affinité avec un robot reste basse une fois un certain degré d'anthropomorphisme atteint. Une explication alternative de ce résultat est que les robots utilisés dans notre étude ne soient pas suffisamment perçus comme physiquement proches des humains en dépit du fait qu'ils présentaient des scores de ressemblance humaine très élevés. Une étude dans laquelle seraient ajoutées des photos de véritables humains présentés aux participants comme étant des robots pourrait constituer un test de cette dernière possibilité. Ainsi, si l'hypothèse de vallée de l'étrange n'a pas été totalement confirmée, nos résultats confirment qu'il peut être souhaitable d'éviter de concevoir des robots à l'apparence trop humaine afin qu'ils ne suscitent pas de sentiment important d'étrangeté, et qu'ils soient par là même acceptés.

5. BIBLIOGRAPHIE

Mori, M., MacDorman, K. F., & Kageki, N. (2012). The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, *19*(2), 98-100. https://doi.org/10.1109/MRA.2012.2192811

Phillips, E., Zhao, X., Ullman, D., & Malle, B. F. (2018). What is human-like? Decomposing robot human-like appearance using the Anthropomorphic roBOT (ABOT) Database. *Proceedings of the Eleventh Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, Chicago, USA. Piscataway, NJ: IEEE Press. https://www.abotdatabase.info/hripaper/download

Spatola, N., Kühnlenz, B., & Cheng, G. (2021). Perception and evaluation in human–robot interaction: The Human–Robot Interaction Evaluation Scale (HRIES) — A multicomponent approach of anthropomorphism. *International Journal of Social Robotics*, *13*(7), 1517-1539. https://doi.org/10.1007/s12369-020-00667-4

Zhang, J., Li, S., Zhang, J. Y., Du, F., Qi, Y., & Liu, X. (2020). A literature review of the research on the uncanny valley. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 255-268). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49788-0_19

P6 : *Les situations de conduite générant de l'anxiété/peur/appréhension selon le genre et l'âge*

Hugo Bréard

Technocentre Renault, UET Facteurs Humains & Ergonomie, Cognitive de l'Expérience Utilisateur, 78280 Guyancourt

hugo.breard@renault.com

Jean-Marie Burkhardt

Université Gustave Eiffel, Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, 78000 Versailles

jean-marie.burkhardt@univ-eiffel.fr

Béatrice Cahour

Télécom Paris – Institut Polytechnique de Paris – UMR CNRS 9217 I3, Département de Sciences Economiques et Sociales 91120 Palaiseau, **beatrice.cahour@telecom-paris.fr**

Arnaud Koustanai

Technocentre Renault, UET Facteurs Humains & Ergonomie Cognitive de l'Expérience Utilisateur, 78280 Guyancourt

arnaud.koustanai@renault.com

RÉSUMÉ

Les systèmes d'aide à la conduite améliorent le confort et la sécurité des conducteurs. Certaines personnes sont gênées, voire handicapées dans leur vie quotidienne, par leur peur de conduire. Afin de déterminer les caractéristiques des conducteurs sujets à de l'anxiété/peur/appréhension en situation de conduite automobile et d'identifier les situations de conduite dans lesquelles elles surviennent, un questionnaire a été élaboré et administré à 2234 personnes titulaires du permis de conduire. Les résultats indiquent des différences dans les ressentis d'anxiété/peur/appréhension en fonction de l'âge et du genre, comme le fait que les jeunes conducteurs (18-35 ans) déclarent plus fréquemment de l'APA que les conducteurs âgés, ainsi que les situations de conduite les plus éprouvantes selon les types de population, comme le fait que les femmes ressentent plus d'anxiété/peur/appréhension dans l'ensemble des situations de conduite et particulièrement en conduite de nuit.

MOTS-CLÉS

Conduite, anxiété, peur, appréhension, questionnaire

1. INTRODUCTION, OBJECTIFS ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Pour répondre aux besoins des personnes et améliorer le confort et la sécurisation de leur conduite, le secteur automobile développe de plus en plus de systèmes d'aide (e.g. monitoring du conducteur, système de centrage voie).

Cette étude s'inscrit dans un travail de thèse visant à développer des aides pour les personnes qui appréhendent de conduire dans certaines situations. Cette appréhension peut affecter leur autonomie si elle mène au renoncement à la conduite, voire générer une prise de risque si les personnes continuent malgré tout à conduire (Matthews & Desmond, 1995). Il paraît alors important de permettre aux conducteurs d'envisager de façon plus sereine et adaptée les situations de conduite générant ces ressentis et de favoriser leur capacité à les gérer. La conduite est à considérer comme une action située (Suchman, 1987) dans le sens où l'activité et l'expérience vécue par le sujet découlent des objectifs qu'il se donne et qui émergent en situation, de leur adaptation à l'environnement physique, social et technique tout au long de l'action, orientant ainsi la façon dont il interprète la

situation et agit. A terme, la thèse se structure en trois parties : (1) déterminer les caractéristiques des personnes gênées par une anxiété en conduisant, (2) analyser finement le vécu et l'activité pendant ces situations critiques, (3) pré-concevoir de façon participative des systèmes d'aide pour aider à gérer ces situations anxiogènes. La présente étude contribue à la première partie en visant à caractériser les conducteurs ressentant de l'APA (Anxiété/Peur/Appréhension) en situation de conduite et à identifier les situations de conduite dans lesquelles ces ressentis se manifestent. Ces émotions ont été sélectionnés car elles peuvent être handicapantes et limitantes pour les individus.

Selon Taylor et al. (2022), l'anxiété de conduite s'établit dans un continuum allant d'un léger inconfort occasionnel jusqu'à une anxiété sévère associée à l'évitement, cette dernière pouvant être assimilée à la peur de conduire (Taylor et al., 2002 ; Stephens et al., 2020). Cette peur peut être associée à l'anticipation d'une situation redoutée (Plutchik, 1980).

L'étude présentée ici comporte deux questions de recherche :

- **QR1 : Quelles sont les caractéristiques propres à la population sujette à de l'anxiété, de la peur et/ou de l'appréhension en situation de conduite ?**
- **QR2 : Quelles sont les situations de conduite dans lesquelles l'anxiété, la peur et/ou l'appréhension s'expriment principalement et sont-elles différentes selon le genre et l'âge ?**

2. METHODOLOGIE

Pour y répondre, un questionnaire a été développé. Il est composé de 23 items (e.g. 7 items regroupent les variables socio-démographiques) et d'un inventaire de 28 situations de conduite regroupées dans trois thèmes : (1) « Types de route » (e.g. Quand je conduis sur l'autoroute), (2) « Interactions avec d'autres usagers » (e.g. Quand je suis avec un passager qui critique ma conduite) et (3) « Autres contextes » (e.g. Quand je conduis à l'étranger). Pour chaque situation, le répondant doit indiquer l'intensité de son sentiment habituel d'APA (sentiment vécu ou supposé s'il n'a pas vécu cette situation) sur une échelle allant de 1 (pas de ressenti) à 5 (très fort ressenti). Ces situations ont été sélectionnées sur la base d'une revue de littérature (e.g. Cahour, 2008 ; Stephens et al., 2020) et d'entretiens préalables. Le tableau 1 présente la structure du questionnaire.

Items	Thématiques
1	Expérience de conduite
2	Fréquence de conduite
3	Fréquence de conduite dans le cadre professionnel
4, 5, 6, 7	Inventaire des situations de conduite
8	Fréquence d'APA
9, 10	Impact de l'APA sur la manière de conduire
11	Sentiment d'être gêné/handicapé par l'APA dans les sphères personnelle et/ou professionnelle
12	Moment de ressenti de l'APA
13	Existence de particularité pouvant impacter l'APA
14, 15, 16	Implication en tant que victime ou responsable dans un accident de la route
17, 18, 19	Implication d'un proche en tant que victime ou responsable dans un accident de la route
20	Question libre permettant d'ajouter des commentaires par rapport aux précédentes réponses
21	Âge
22	Genre
23	Parentalité
24	Niveau d'études
25	Type d'apprentissage de la conduite
26	Âge d'obtention du permis B
27	Possession d'autres permis de conduire

Tableau 1 : Structure du questionnaire

La cohérence du questionnaire et l'intelligibilité des questions ont été pré-testées auprès de 7 personnes, en leur demandant d'y répondre en utilisant la méthode de la pensée à voix haute (*thinking aloud protocol,* Ericsson & Simon, 1980). Ceci a permis aux participants de verbaliser leur cheminement

de pensée pour répondre aux questions, de préciser quand ils ne comprenaient pas bien la question ou de critiquer n'importe quel aspect du questionnaire. 21 ajustements ont ainsi été faits quant à la formulation et la position des questions, ou l'ajout de certaines questions.

Le questionnaire a été administré entre le 24 janvier et 24 mars 2023 auprès d'un échantillon de convenance de 2234 personnes titulaires du permis de conduire contactées par plusieurs moyens[26]. Toutefois, les analyses portent sur 2216 personnes (883 femmes et 1333 hommes, respectivement 39,5% et 59,7% de l'échantillon) ayant renseigné le genre féminin ou masculin, les personnes non-binaires étant peu nombreuses.

3. PRINCIPAUX RESULTATS

Les analyses ont été faites avec le logiciel IBM Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 25. Le tableau 2 présente la distribution de l'ensemble de la population sur les différentes variables relatives à l'APA. Dans le cas de variables qualitatives, l'analyse du tableau de contingence s'appuie sur deux indicateurs descriptifs qui sont le V2 de Cramér[27] et les taux de liaison[28]. Le cas échéant, la généralisation est évaluée au moyen du khi2 ou du test de Fisher.

Items	Thématique de la question	Modalités de réponse	Fréquence
8	Fréquence des ressentis d'APA en conduite	Jamais	103 (4.6%)
		Rarement	968 (43.3%)
		Occasionnellement	939 (42.0%)
		Souvent	200 (9.0%)
		Toujours	24 (1.1%)
9	Impact potentiel des ressentis d'APA sur la manière de conduire	Oui	516 (24.2%)
		Non	790 (37.1%)
		Peut-être/je ne sais pas	825 (38.7%)
11	Impression d'être gêné au quotidien par des ressentis d'APA en conduite	Oui	364 (17.1%)
		Non	1767 (82.9%)
12	Moment de la conduite où des ressentis d'APA se manifestent	Avant de conduire	129 (6.1%)
		Pendant que je conduis	1683 (79%)
		Après que j'ai conduit	62 (2.9%)

Items	Thématique de la question	Modalités de réponse	Fréquence
12	Moment de la conduite où des ressentis d'APA se manifestent	Avant, pendant et après	13 (0.6%)
		Avant et pendant	192 (9%)
		Avant et après	1 (0.1%)
		Pendant et après	51 (2.4%)
13	Existence de particularités impactant les ressentis d''APA en conduite	Oui	416 (19.5%)
		Non	1658 (77.8%)
		Ne souhaite pas s'exprimer	57 (2.7%)
15	Impact potentiel de cet accident sur les ressentis d'APA en conduite	Oui	315 (28.8%)
		Non	607 (55.5%)
		Peut-être/je ne sais pas	172 (15.7%)
18	Impact potentiel de l'accident d'un proche sur les ressentis d'APA en conduite du répondant	Oui	196 (16.9%)
		Non	727 (69.8%)
		Peut-être/je ne sais pas	234 (20.2%)

Tableau 2 : Distribution des variables relatives à l'APA[29]

Sept situations de conduite sont perçues comme particulièrement anxiogènes par l'ensemble de la population[30] : la conduite dans de **mauvaises conditions climatiques** (*M*=3.40 ; SD=1.04), quand des **piétons imprudents sont proches du véhicule** (*M*=3.26 ; SD=1.03), quand un **élément obstrue la visibilité** (*M*=3.18 ; SD=1.10), quand un **véhicule colle** (*M*=3.15 ; SD=1.16), lorsque l'on conduit **près de vélos, trottinettes ou scooters** (*M*=3.10 ; SD=1.10), lorsque l'on conduit à **l'étranger** (*M*=3.10 ; SD=1.19) et lorsque l'on est **ébloui par des phares** (*M*=3.03 ; SD=1.12).

[26] Il s'agit de 3 listes de diffusion (Ergoliste, ErgoIHM et covoiturage Clermont Sud), LinkedIn, Yammer Renault, France Silver

[27] Le V_ de Cramér se calcule à l'aide du phi_ divisé par le phi_ max. Phi_ max est la plus petite dimension du tableau moins 1. Phi_ est le résumé, la moyenne des taux de liaison du tableau. Le V_ de Cramér est donc lié aux valeurs des taux de liaison ainsi qu'à la taille du tableau. Le V_ est toujours un nombre compris entre 0 et 1.

[28] Les taux de liaison (TDL) sont des écarts relatifs à l'indépendance. Ils s'obtiennent par la comparaison entre les données observées et celles qui auraient été obtenues si les deux facteurs étudiés étaient indépendants. Il y a attraction lorsque le taux de liaison est positif (les données observées sont supérieures à celles théoriques). Il y a répulsion quand le taux de liaison est négatif (les données observées sont inférieures à celles théoriques).

[29] Les questions ouvertes, non quantifiables, ne sont pas indiquées dans le tableau.

[30] Pour faciliter la lecture des résultats, les situations de conduite ont été mises en gras et les populations étudiées ont été soulignées.

La fréquence déclarée d'APA diffère entre les hommes et les femmes. L'analyse des taux de liaison entre le genre et la fréquence de survenue de l'APA montre un effet d'attraction fort chez les femmes pour les fréquences « souvent » (TDL=0.85) et « toujours » (TDL=0.78) et plus modeste chez les hommes pour les fréquences « jamais » (TDL=0.38) et « rarement » (TDL=0.24). Les femmes déclarent ressentir plus fréquemment de l'APA que les hommes (khi²=34.43 (ddl=16) ; p<0.01).

L'analyse des taux de liaison entre l'âge et la fréquence de survenue de l'APA montre un effet d'attraction chez les 18-25 ans pour les fréquences « souvent » (TDL=0.41) et « toujours » (TDL=0.72), chez les 26-35 ans pour la fréquence « toujours » (TDL=0.64) et chez les plus de 65 ans pour la fréquence « jamais » (TDL=0.61). Il y a également un effet de répulsion chez les 51-65 ans pour la fréquence « toujours » (TDL=-0.54). Les jeunes conducteurs déclarent donc plus fréquemment de l'APA que les conducteurs âgés (khi²=247.02 (ddl=4) ; p<0.01).

Si l'on se focalise sur l'intensité de l'APA selon les situations de conduite, les femmes ont des scores moyens d'APA systématiquement plus élevés que les hommes (tous les tests t sont significatifs à 0.01 sauf pour la situation « Quand je conduis dans des embouteillages » à 0.05). Les différences les plus importantes concernent la conduite sur **route en lacet** (M_F=3.20 ; SD_F=1.13 ; M_H=2.30 ; SD_H=1.04), la **conduite d'une voiture inconnue** (M_F=2.85 ; SD_F=1.12 ; M_H=2.17 ; SD_H=0.98) et la conduite **de nuit** (M_F=2.98 ; SD_F=1.25 ; M_H=2.14 ; SD_H=1.05).

En réalisant une comparaison des moyennes pour chacune des situations de conduite proposées, plusieurs constats relatifs à l'âge peuvent être apportés. Quand les plus de 65 ans conduisent dans une **zone urbaine dense**[31], dans une **voie étroite à double sens**[32] et lorsqu'ils arrivent à une **intersection complexe**[33]**,** le ressenti d'APA tend à drastiquement diminuer.

Le ressenti d'APA sur certaines situations de conduite tendent à constamment augmenter avec l'âge comme le fait de conduire avec un **passager agité et/ou bavard**[34], le fait d'être **ébloui par des phares**[35], la conduite de **nuit**[36] et la conduite lorsqu'un **élément obstrue la visibilité**[37].

Les situations « Quand je conduis **près de vélos, trottinettes ou scooters** »[38] et « Quand un **véhicule me colle** »[39] montrent une augmentation du ressenti d'APA jusqu'à un pic atteint entre 51 et 65 ans, avant de redescendre au même niveau que les jeunes.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les femmes déclarent plus fréquemment de l'APA que les hommes, ce qui corrobore avec les constats d'autres auteurs (e.g. Stephens et al., 2020). Elles en ressentent plus pour toutes les situations de conduite et notamment sur les routes en lacet, lorsqu'elles conduisent des voitures inconnues ou en conduite de nuit.

Les jeunes conducteurs (18-35 ans) déclarent plus fréquemment de l'APA, comme l'ont montré d'autres auteurs (e.g. Taylor et al., 2022). Certains types de route semblent moins anxiogènes pour les conducteurs âgés de plus de 65 ans comme la conduite en zone urbaine dense, l'arrivée à des intersections complexes et la conduite sur voie étroite à double sens. Toutefois, d'autres situations qui mettent notamment en jeu la vision sont perçues comme plus anxiogènes par cette population comme

[31] ($M_{18\text{-}25}$=2.73 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.19 ; $M_{26\text{-}35}$=2.70 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.15 ; $M_{36\text{-}50}$=2.66 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.12 ; $M_{51\text{-}65}$=2.65 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.12 ; M_{66+}=2.31 ; SD_{66+}=1.10)
[32] ($M_{18\text{-}25}$=2.62 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.10 ; $M_{26\text{-}35}$=2.64 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.15 ; $M_{36\text{-}50}$=2.60 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.11 ; $M_{51\text{-}65}$=2.64 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.07 ; M_{66+}=2.36 ; SD_{66+}=1.12)
[33] ($M_{18\text{-}25}$=2.73 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.10 ; $M_{26\text{-}35}$=2.67 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.08 ; $M_{36\text{-}50}$=2.58 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.03 ; $M_{51\text{-}65}$=2.66 ; $SD_{51\text{-}65}$=1 ; M_{66+}=2.39 ; SD_{66+}=1.08)
[34]($M_{18\text{-}25}$=2.06 ; $SD_{18\text{-}25}$=1 ; $M_{26\text{-}35}$=2.27 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.03 ; $M_{36\text{-}50}$=2.43 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.03 ; $M_{51\text{-}65}$=2.50 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.06 ; M_{66+}=2.68 ; SD_{66+}=1.20)
[35] ($M_{18\text{-}25}$=2.89 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.14 ; $M_{26\text{-}35}$=2.90 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.10 ; $M_{36\text{-}50}$=2.95 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.07 ; $M_{51\text{-}65}$=3.18 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.11 ; M_{66+}=3.18 ; SD_{66+}=1.20)
[36] ($M_{18\text{-}25}$=2.10 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.06 ; $M_{26\text{-}35}$=2.28 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.14 ; $M_{36\text{-}50}$=2.39 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.14 ; $M_{51\text{-}65}$=2.61 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.22 ; M_{66+}=2.95 ; SD_{66+}=1.35)
[37] ($M_{18\text{-}25}$=2.99 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.07 ; $M_{26\text{-}35}$=3.07 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.05 ; $M_{36\text{-}50}$=3.16 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.09 ; $M_{51\text{-}65}$=3.35 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.05 ; M_{66+}=3.23 ; SD_{66+}=1.22)
[38] ($M_{18\text{-}25}$=2.96 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.10 ; $M_{26\text{-}35}$=3 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.06 ; $M_{36\text{-}50}$=3.10 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.10 ; $M_{51\text{-}65}$=3.31 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.07 ; M_{66+}=2.93 ; SD_{66+}=1.17)
[39] ($M_{18\text{-}25}$=3 ; $SD_{18\text{-}25}$=1.19 ; $M_{26\text{-}35}$=2.99 ; $SD_{26\text{-}35}$=1.17 ; $M_{36\text{-}50}$=3.25 ; $SD_{36\text{-}50}$=1.07 ; $M_{51\text{-}65}$=3.32 ; $SD_{51\text{-}65}$=1.14 ; M_{66+}=2.97 ; SD_{66+}=1.25)

le fait d'être ébloui par des phares, la conduite de nuit et le fait d'avoir un élément qui obstrue la visibilité. Le fait de conduire avec un passager agité ou bavard est également vécu comme étant anxiogène par les conducteurs âgés de plus de 65 ans. On peut supposer que cela implique un partage attentionnel qui est impacté au cours du vieillissement. Ces différences pourraient potentiellement suggérer l'existence de stratégies de coping qui ont évolué avec l'âge.

Une analyse en composantes principales (ACP) va être réalisée pour identifier des profils qui mettent en relation les caractéristiques des conducteurs, l'APA, et des situations de conduite. Par ailleurs, une démarche d'enquête par entretiens va être initiée sur une population dont les caractéristiques, identifiées dans cette étude, sont représentatives des conducteurs étant sujets à l'APA. Ils permettront de décrire plus finement l'activité et le vécu pendant ces situations de conduite.

5. BIBLIOGRAPHIE

Cahour, B. (2008). Discomfort, affects and coping strategies in driving activity. *ECCE 2008 (European Conference on Cognitive Ergonomics)*, janvier 2008, Madère, Portugal

Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review, 87*(3), 215–251

Matthews G., Desmond P. A. (1995). Stress as a factor in the design of in-car driving enhancement systems, *Le travail Humain*, *58*(2), 109–129

Plutchik, R. (1980). Emotion, a psychoevolutionary synthesis. Harper & Row, New York

Stephens, A. N., Collette, B., Hidalgo-Munoz, A., Fort, A., Evennou, M., & Jallais, C. (2020). The impacts of anxiety over driving on self-reported driving avoidance, work performance and quality of life. *Journal of Transport & Health*

Suchman, L. (1987). Plans and situated actions: the problem of human machine interaction. Cambridge: Cambridge University Press

Taylor, J., Deane, F., & Podd, J. (2002). Driving-related fear: a review. Clinical Psychology Review, 22, 631–645

Taylor, J. E., McLean, R., Samaranayaj, A., & Connolly, M. J. (2022). How does driving anxiety relate to the health and quality of life of older drivers? Journal of Applied Gerontology, 41(5), 1312–1320

6. ANNEXES

<u>Annexe 1 :</u> Tableau des caractéristiques socio-démographiques

Items	Thématique de la question	Modalités de réponse	Fréquence
1	Expérience de conduite	Peu expérimenté	126 (5,6%)
		Intermédiaire	274 (12.3%)
		Expérimenté	1834 (82.1%)
2	Fréquence de conduite	Je n'ai pas conduit	32 (1.4%)
		Moins de 2 fois par mois	81 (3.6%)
		Entre 2 et 4 fois par mois	168 (7.5%)
		Entre 2 et 4 fois par semaine	797 (35.7%)
		Tous les jours	1156 (51.7%)
3	Fréquence de conduite dans le cadre professionnel	Jamais	845 (38.4%)

Items	Thématique de la question	Modalités de réponse	Fréquence
22	Genre	Femme	883 (39.5%)
		Homme	1333 (59.7%)
		Non binaire	7 (0.3%)
		Ne se prononce pas	11 (0.5%)
23	Parentalité	Oui	1387 (62.1%)
		Non	847 (37.9%)
24	Niveau d'études	Avant baccalauréat	196 (8.8%)
		Baccalauréat	195 (8.7%)
		Bac +2 ou +3	571 (25.6%)

		Moins de 2 fois par mois	380 (17.3%)
		Entre 2 et 4 fois par mois	198 (9.0%)
		Entre 2 et 4 fois par semaine	453 (20.6%)
		Tous les jours	326 (14.8%)
14	Implication en tant que victime ou responsable dans un accident de la route	Oui	1094 (49.0%)
		Non	1140 (51.0%)
17	Implication d'un proche en tant que victime ou responsable dans un accident de la route	Oui	1157 (51.8%)
		Non	1077 (48.2%)
21	Âge	18-25 ans	325 (14.5%)
		26-35 ans	341 (15.3%)
		36-50 ans	625 (28.0%)
		51-65 ans	606 (27.1%)
		66 ans et plus	337 (15.1%)

		Bac +4 ou +5	1022 (45.7%)
		Bac +6 ou plus	250 (11.2%)
25	Type d'apprentissage de la conduite	Conduite accompagnée, supervisée ou encadrée	810 (36.3%)
		Conduite « traditionnelle »	1424 (63.7%)
26	Âge d'obtention du permis B	17-20 ans	1732 (77.5%)
		21-25 ans	382 (17.1%)
		26-35 ans	99 (4.4%)
		36-50 ans	14 (0.6%)
		51 ans et plus	7 (0.3%)
27	Possession d'autres permis de conduire[40]	Aucun autre permis	1535 (68.7%)
		Permis cyclomoteur (AM)	290 (13%)
		Permis moto (A)	458 (20.5%)
		Permis professionnels (C et D)	118 (5.3%)
		Permis remorque (E)	113 (5.1%)

[40] Concernant les autres permis possédés, les effectifs et les fréquences sont calculés sur la base de la population totale pour chacune des modalités (plusieurs répondants peuvent posséder plusieurs autres permis de conduire).

P7 : *Fournir un feedback lors de la conduite : L'importance du niveau de traitement de l'information*

Angèle Picco, Arjan Stuiver, Joost de Winter & Dick de Waard
University of Groningen, Faculty of Behavioural and Social Sciences, a.picco@rug.nl
University of Groningen, Faculty of Behavioural and Social Sciences, a.stuiver@rug.nl
Delft University of Technology, Faculty of 3mE, j.c.f.dewinter@tudelft.nl
University of Groningen, Faculty of Behavioural and Social Sciences, d.de.waard@rug.nl

RÉSUMÉ

Face aux risques dans l'activité de conduite, une stratégie est de fournir un feedback aux conducteurs, afin de les guider vers un comportement plus sûr. L'étude présentée ici propose de tester si le niveau de traitement de l'information du feedback fourni a un effet sur le comportement. Une étude sur simulateur a été réalisée avec 29 participants, qui ont reçu quatre niveaux de feedback dans différentes conditions : (1) une information seule, (2) une analyse de cette information, (3) une décision et (4) aucune information (condition contrôle). Le feedback visait à encourager les conducteurs à adopter des comportements plus sûrs en termes de vitesse et de distance avec le véhicule précédent. Aucun effet significatif n'a été observé sur ces deux comportements. Cependant un effet a été constaté sur le temps passé au-delà des limites de vitesse et en-deçà de la distance recommandée, des comportements jugés à risque. Les participants adoptaient des comportements à risques pendant plus longtemps dans la condition 'Information' et moins longtemps dans la condition 'Décision'. Il semblerait que le feedback contenant l'information seule a incité les participants à adopter plus de comportements à risques, alors que les participants se sont davantage conformés au feedback contenant une décision. Ces résultats pourraient être utiles pour la conception de futures interventions pour encourager des comportements plus sûrs sur la route.

MOTS-CLÉS

Conduite, feedback, traitement de l'information, simulateur, adaptation comportementale.

1. INTRODUCTION

Pour réduire les risques routiers, une approche courante et relativement prometteuse consiste à fournir un feedback aux conducteurs (e.g., Bell et al., 2017; Mase et al., 2020 ; Toledo & Lotan, 2006). Cependant, la majorité des études sur le sujet s'est concentrée sur la *manière* de fournir du feedback, notamment en termes de moment, de format, ou même de comportements à viser (voir Michelaraki et al., 2021 pour une revue). Peu d'études ont examiné le niveau de traitement de l'information fournie aux conducteurs. Bien qu'une étude d'Eriksson et al. (2019) ait exploré différents niveaux d'information pour aider les conducteurs à reprendre le contrôle de leur véhicule après une conduite automatisée, l'effet du traitement de l'information sur les comportements routiers reste peu connu et peut s'avérer pertinent.

En effet, la conduite peut être considérée comme une activité complexe de traitement de l'information : c'est un processus de collecte, d'analyse, de décision et d'action basé sur l'information provenant de l'environnement. Sur chacune de ces étapes, le conducteur est susceptible d'être faillible. Ainsi, si par exemple l'analyse de l'information est particulièrement difficile pour les conducteurs, fournir un feedback avec une information brute pourrait être contre-productif, alors que fournir une analyse de cette information serait particulièrement pertinent. Il peut donc être envisagé

d'automatiser ce traitement de l'information, comme le suggèrent Parasuraman, Sheridan et Wickens (2000), de manière à soutenir le conducteur dans son activité.

L'objectif de cette étude est de tester si le niveau de traitement de l'information contenue dans le feedback a un effet sur les comportements. Afin de tester l'effet du niveau de traitement de l'information, deux comportements sont ciblés par le feedback : la vitesse et la distance entre le véhicule du conducteur et le véhicule le précédant. Les variables dépendantes sont d'une part les comportements cibles (vitesse et distance), mais aussi la proportion de temps passé au-delà des limites de vitesse et en-deçà de la distance recommandée (i.e., un écart de deux secondes entre les deux véhicules). Les résultats de cette étude pourraient permettre d'identifier si une étape du traitement de l'information est plus sujette à des failles et ainsi mieux ajuster les interventions de sécurité et prévenir davantage des accidents de la route.

2. METHODES

2.1. Participants

Vingt-neuf participants, dont 15 femmes et 14 hommes, d'un âge moyen de 33,5 ans (*ET* = 17,6) et avec un âge moyen d'obtention du permis de conduire de 18,9 ans (*ET* = 2,4), ont participé à l'étude. Cinq participants de plus étaient initialement recrutés mais ont abandonné en raison d'un mal des transports. Seuls 10 participants utilisaient une voiture privée comme principal moyen de transport, d'autres optant pour le vélo (*n* = 17), la marche (*n* =1) ou les transports en commun (*n* =1). Les participants ont été recrutés par échantillonnage de convenance, réseaux sociaux, flyers et d'un groupe d'étudiants de première année.

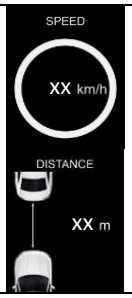
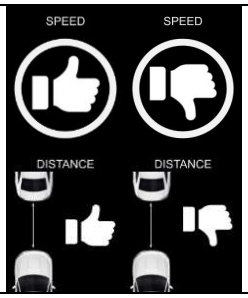
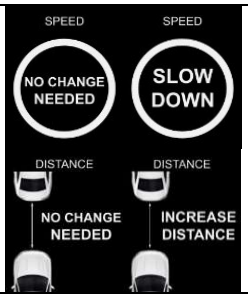
2.2. Matériel

L'expérience s'est déroulée sur un simulateur de conduite Jentig50, composé d'une plateforme mobile, avec un siège, un volant, des pédales et une boîte de vitesse, et de cinq écrans de 60 pouces. Le trajet a été conçu sur le logiciel StRoadDesign et s'étend sur environ 10 km. Le parcours débutait dans un environnement rural, avec des zones limitées à 80 km/h, puis continuait dans un environnement urbain limité à 50 km/h et se terminait sur une autoroute, limitée à 100 km/h selon les règlementations Néerlandaises. Sur trois sections, un véhicule s'insérait dans le trafic, juste avant le participant.

Au total, les participants effectuaient ce parcours quatre fois, une fois dans chacune des conditions : 'contrôle' (sans aucun feedback), 'information', 'évaluation' et 'décision'. Le feedback était proposé visuellement, avec des images qui sont présentées ci-dessous dans le Tableau 1.

Tableau 1

Images du Feedback

	Condition		
	Information	Évaluation	Décision
Feedback sur la vitesse			
Feedback sur la distance			

Note. Une valeur factuelle numérique était présentée à la place de 'xx' dans la condition Information

Les seuils pour déclencher un feedback négatif étaient la limite de vitesse + 1.5m/s pour la vitesse et une limite de 1.2 secondes pour le temps séparant les deux véhicules (en divisant la distance par la vitesse).

2.3. Analyse de données

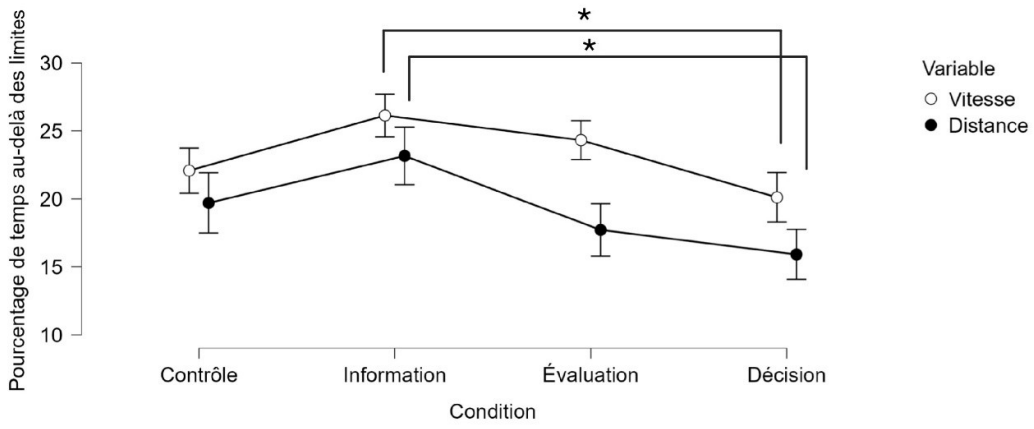
Les variables principales étaient la vitesse et la distance entre véhicules. Les moyennes de chaque condition ont été comparées à l'aide d'une analyse de variances (ANOVA) à mesures répétées. De plus, le pourcentage de temps passé au-delà des limites a été analysé en calculant la proportion de temps passé au-dessus de la limite de vitesse et en-dessous de la distance recommandée (i.e., un écart de deux secondes entre les deux véhicules). Cette variable est appelée "temps passé au-delà des limites" dans le reste du document. Les pourcentages de chaque condition ont également été analysés avec une ANOVA à mesures répétées.

3. RESULTATS

La vitesse moyenne sur le parcours était de 67.5 km/h (*ET* = 4.6), et n'a pas montré de différence significative selon les conditions ($F(3,78) = 1.60$, $p = .20$, $\eta 2 = .06$). De même, la distance entre les véhicules n'a pas montré de différence significative selon les conditions ($F(3,78) = 1.82$, $p = .15$, $\eta 2 = .07$).

L'analyse du pourcentage de temps passé au-delà des limites apporte des résultats plus concluants et similaires entre l'effet sur la vitesse et l'effet sur la distance. Effectivement, pour les deux comportements, des différences significatives sont observées entre les conditions (pour la vitesse : $F(3,78) = 3.96$, $p = .011$, $\eta 2 = .13$; pour la distance : $F(3,78) = 2.78$, $p = .047$, $\eta 2 = .01$). Les analyses post-hoc ont révélé des différences significatives entre les conditions Information et Décision (pour la vitesse : $t(78) = 3.23$, $p = .011$; pour la distance : $t(78) = 3.23$, $p = .044$). Ce résultat est illustré dans la Figure 1, les barres d'erreur représentant les écarts-types.

Figure 1 :
Pourcentage de Temps Passé Au-delà des Limites Selon la Condition de Feedback



4. DISCUSSSION ET CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de déterminer si le niveau de traitement de l'information du feedback fourni aux conducteurs a un impact sur leur comportement. Les comportements visés étaient la vitesse et la distance entre les véhicules. Les résultats ont montré que le feedback n'a pas eu d'effet significatif sur ces comportements, qui étaient similaires dans les quatre conditions.

Néanmoins, l'étude a révélé un effet du niveau de traitement de l'information sur le temps passé au-delà des limites. Les résultats ont montré que la condition Information a entraîné chez les participants des comportements à risques pendant une durée plus longue. Étant donné que le feedback fourni dans cette condition ne différait pas selon un seuil préétabli, les participants ne pouvaient pas en déduire si leurs comportements étaient adéquats ou non. Ces résultats suggèrent une lacune dans l'analyse de l'information, où l'information seule ne serait pas suffisante pour aider les participants à adopter les comportements souhaités. Il s'agit également d'un exemple d'adaptation comportementale, qui est souvent observée lors d'interventions de sécurité routière (Smiley & Rudin-Brown, 2020) ainsi que dans des études antérieures portant sur l'utilisation du feedback (Brookhuis & de Waard, 1999).

Le second résultat principal de cette étude concerne l'effet de la condition Décision sur le comportement des participants. Contrairement à la condition Information, la condition Décision a eu un effet positif sur les comportements des participants en les encourageant à adopter des comportements plus sûrs. Les résultats indiquent que les participants ont tendance à se conformer davantage à une décision déjà prise. Ce résultat pourrait apporter une réponse à la question principale de cette recherche : en tenant en compte que les meilleurs résultats comportementaux sont obtenus en automatisant l'étape de prise de décision, et que l'automatisation des autres étapes n'a pas d'effets positifs et/ou significatifs, alors il est raisonnable de supposer que l'étape de prise de décision est plus propice aux failles lors de la conduite.

Cette interprétation peut être utilisée dans la conception de futures interventions de sécurité routière, comme la conception de futurs feedbacks, mais peut également être intéressante d'un point de vue théorique, pour comprendre les mécanismes de traitement de l'information et de prise de décision dans la conduite. Ce résultat est cependant à nuancer, et n'est pour l'instant applicable que pour des comportements de vitesse et de distance entre véhicules, mais apporte néanmoins une nouvelle vision de l'activité de conduite et de ses potentielles failles.

5. BIBLIOGRAPHIE

Bell, J. L., Taylor, M. A., Chen, G. X., Kirk, R. D., & Leatherman, E. R. (2017). Evaluation of an in-vehicle monitoring system (IVMS) to reduce risky driving behaviors in commercial drivers: Comparison of in-cab warning lights and supervisory coaching with videos of driving behavior. *Journal of Safety Research*, *60*, 125-136.

Brookhuis, K., & de Waard, D. (1999). Limiting speed, towards an intelligent speed adapter (ISA). *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *2*(2), 81-90.

Eriksson, A., Petermeijer, S. M., Zimmermann, M., de Winter, J. C. F., Bengler, K. J., & Stanton, N. A. (2019). Rolling Out the Red (and Green) Carpet: Supporting Driver Decision Making in Automation-to-Manual Transitions. Ieee Transactions on Human-Machine Systems, 49(1), 20-31. https://doi.org/10.1109/Thms.2018.2883862

Mase, J. M., Majid, S., Mesgarpour, M., Torres, M. T., Figueredo, G. P., & Chapman, P. (2020). Evaluating the impact of Heavy Goods Vehicle driver monitoring and coaching to reduce risky behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, *146*. https://doi.org/ARTN 105754 10.1016/j.aap.2020.105754

Michelaraki, E., Katrakazas, C., Yannis, G., Filtness, A., Talbot, R., Hancox, G., Pilkington-Cheney, F., Brijs, K., Ross, V., Dirix, H., Neven, A., Paul, R., Brijs, T., Fortsakis, P., Frantzola, E. K., & Taveira, R. (2021). Post-trip safety interventions: State-of-the-art, challenges, and practical implications. Journal of Safety Research, 77, 67-85. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2021.02.005

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics Part a-Systems and Humans*, *30*(3), 286-297. https://doi.org/Doi 10.1109/3468.844354

Smiley, A., & Rudin-Brown, C. (2020). Drivers adapt - Be prepared for It! *Accident Analysis and Prevention*, *135*. https://doi.org/ARTN 105370 10.1016/j.aap.2019.105370

Toledo, T., & Lotan, T. (2006). In-vehicle data recorder for evaluation of driving behavior and safety. *Safety Data, Analysis, and Evaluation*(1953), 112-119. https://doi.org/Doi 10.3141/1953-13

P8 : *Détection du degré de fatigue mentale d'un visage par un évaluateur humain (Etude CLAVIF)*

Anaïs Loiseau, Alexandre Lambert, Assia Soukane, Véronique Chastres & Arnaud Rabat

Unité ECSO de l'Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA), anais_loiseau@live.fr

ECE Paris et unité ECSO de l'IRBA, alexandre.lambert@edu.ece.fr

ECE Paris, assia.soukane@ece.fr

Unité Perception de l'IRBA, vchastres@gmail.com

Unité ECSO de l'IRBA, arnaud.rabat@def.gouv.fr

RÉSUMÉ

Faciliter la détection de la fatigue mentale à l'origine de nombreux accidents en identifiant des modifications physionomiques, biologiques et/ou neurophysiologiques permettrait de prévenir les comportements à risques et inadaptés. Dans le cadre de l'étude CLAVIF (CLAssification de VIsages Fatigués), des évaluateurs (76 militaires) ont dû 1) retrouver l'ordre chronologique de 4 séquences vidéo d'un sujet mentalement fatigué par 45 minutes d'une tâche d'attention soutenue (PVT) et 2) lister les indicateurs du visage utilisés pour ce classement. Nos résultats montrent que des évaluateurs humains sont capables de détecter le degré de fatigue d'un visage mentalement fatigué. Les *« yeux »* semblent être l'indicateur principal. D'autres indicateurs, moins fréquents, comme la *« bouche »,* la *« tête »* sont également utilisés et l'addition de ces derniers indicateurs (3 au total) faciliterait cette détection de la fatigue d'un visage humain. Cette étude CLAVIF doit être poursuivie et approfondie afin d'expliquer 1) les différences individuelles (au sein des évaluateurs) dans cette capacité de détection du degré de fatigue d'un visage et 2) la difficulté de cette détection selon la personne évaluée.

MOTS-CLÉS

Fatigue cognitive/mentale, Physionomie du visage, Attention Soutenue, Dette de sommeil, Classement de vidéos

1. INTRODUCTION

La fatigue mentale/cognitive peut être à l'origine de nombreux accidents dans les transports maritimes, ferroviaires et routiers ou encore à l'origine d'accidents industriels (Di Milia et coll., 2011) (Williamson et coll., 2011) (Caldwell et coll., 2019) (Wise et coll., 2019). Mais cette notion, bien connue du grand public, reste un concept qui est encore beaucoup discuté au sein de la communauté scientifique et trop souvent confondue avec la somnolence (Phillips, 2015) (Gurubhagavatula et coll., 2021) entravant la synchronisation des mesures et des efforts visant à clarifier ce concept. Par ailleurs, les définitions actuelles de la fatigue ne tiennent pas compte d'un large éventail de facteurs associés à l'effort des opérateurs tels que la motivation et les facteurs individuels, organisationnels et environnementaux. Le groupe OTAN HFM-RTG-331 propose de clarifier ce concept au travers de la définition suivante : *« un état psychobiologique induit par un effort prolongé qui a la potentialité de dégrader / réduire les capacités cognitives. »* (Balkin et coll., 2023). La définition proposée pourrait être utilisée pour harmoniser les tentatives d'étude et de traitement de la fatigue dans des contextes de santé et de sécurité des transports. Bien que multidimensionnelle et diffuse, cette nouvelle définition n'empêche pas de mesurer et d'étudier des aspects limités de la fatigue. Par exemple, identifier l'existence de modifications (voir des patterns) physionomiques associés à cet état dégradé faciliterait les moyens utilisés pour sa détection et donc permettrait de prévenir les comportements à risques et

inadaptés associés. Parmi les modifications associées à un état de fatigue mentale/cognitive, nous avons fait le choix d'étudier les modifications de la physionomie du visage dans le cadre de l'étude CLAVIF (CLAssification de VIsages Fatigués). Ce choix tient au fait que ces modifications sont facilement enregistrables (vidéo), qu'elles peuvent être facilement testées expérimentalement (évaluateurs) et enfin qu'elles présentent aussi l'avantage de pouvoir être une solution technique facile à mettre en œuvre en dehors du contexte expérimental du laboratoire, dans un contexte civil et militaire plus écologique. Dans ce cadre théorique, nous nous sommes demandés : 1) un évaluateur humain (militaire) est-il capable, comme pour les émotions, de détecter le degré de fatigue d'un autre visage humain ? 2) Quels seraient les indicateurs/modifications du visage utilisés par l'évaluateur humain ? et 3) Cette fatigue mentale se détecte-t-elle aussi bien quel que soit le visage analysé ?

2. MATERIEL ET METHODE

76 évaluateurs (militaires) ont accepté de participer à cette étude CLAVIF. Des sujets ont été filmés pendant qu'ils réalisaient une tâche d'attention soutenue fatigante (étude DESFAM-F), un PVT (Psychomotor Vigilance Task) de 45 min. (Lim et coll., 2010),(Lim et coll., 2012). 4 séquences de 10 secondes (A, B, C, D,) prises au début, à 15 min., à 30 min. et à 45 min. ont été choisies pour 4 sujets (H95, H105, H93, H122) et présentées aux évaluateurs dans un ordre aléatoire. Les 4 sujets ont été choisis parmi 17 sur la base de leurs évaluations subjectives et objectives de la fatigue : Le sujet H95 a déclaré ne pas être beaucoup plus fatigué bien que ses performances aient diminué à la fin du PVT. Le sujet H105 a déclaré subjectivement être plus fatigué et ses performances avaient également diminué. Quant aux sujets H93 et H122, ils ont respectivement déclaré ne pas être plus fatigué et être plus fatigué alors que leurs performances s'étaient peu ou pas dégradées. Il a été demandé aux évaluateurs de retrouver l'ordre chronologique des séquences présentées. Leur réponse est qualifiée de correcte si l'ordre exacte est retrouvé (ex : ACDB), d'erreur mineure s'il y a une seule inversion contiguë (ex : CADB ou ACBD) et d'erreur majeure si les erreurs sont multiples et/ou non contiguës (ex : BCDA ou DCAB). Il leur a également été demandé de noter leur confiance dans leur classement. Enfin, les évaluateurs nous ont listé les indicateurs du visage (yeux, bouche, position de la tête, etc.) leur ayant permis de classer les 4 séquences vidéos, puis ils ont coché ceux utilisés parmi notre proposition d'items.

3. RESULTATS

3.1. Quelles sont les caractéristiques des évaluateurs humains ?

L'âge moyen des évaluateurs est de 37 ans (EC + ou – 7 ans ; 24-58 ans) 80% des évaluateurs sont des hommes, 45% ont un niveau d'étude inférieur ou égal à un BAC+3. 34% des évaluateurs ont le bac ou un équivalent et 21% ont un niveau supérieur à un BAC+3. 52% des évaluateurs sont des officiers ou de grade supérieur, 51% appartiennent à l'Armée de l'Air et de l'Espace, 18% à l'Armée de Terre, 16% à la Marine Nationale et 15% à un autre état-major.

3.2. Un évaluateur humain (militaire) est-il capable de détecter le degré de fatigue sur un visage ?

Les évaluateurs réussissent majoritairement à retrouver l'ordre chronologique des 4 séquences vidéo sans que cela soit dû au hasard puisque 45% de leurs réponses sont correctes (4% échantillon théorique), 34% sont des erreurs mineures et 21% sont des erreurs majeures (test binomial : p<0,001). Ces réponses correctes, au moins une (ou plus) de séquences vidéos bien classées, sont associées à un score de confiance dans leur classement (6,7/10) qui est significativement plus haut que ceux associés à des erreurs mineures (score de 6/10) (Test Dwass-Steel : p<0,01) et que ceux associés à des erreurs majeures (score de 5/10) (Test Dwass-Steel : p<0,001). Ces scores ne sont pas liés au temps de réflexion

pris par les évaluateurs pour classer les séquences vidéo (Test Kruskal-Wallis : ns) ni au nombre de visionnage des 4 séquences (Test Kruskal-Wallis : ns).

3.3. Quels sont les indicateurs du visage qui sont utilisés pour détecter le degré de fatigue ?

Les *« yeux »* semblent être un indicateur principal (97% de l'ensemble des réponses) utilisé pour le classement des 4 séquences vidéo. Les indicateurs *« tête »,* « *bouche* » et *« autre »* (ex : affaissement des épaules, mouvements/agitation, etc.) sont moins fréquemment utilisés que les yeux (respectivement 38%, 23% et 31% des réponses) pour estimer le degré de fatigue (mentale/cognitive) d'un visage (test Durbin-Conover entre *« yeux »* et tous les autres types d'indicateurs : p<0.001). Mais l'indicateur *« bouche »* est significativement plus souvent utilisé dans les bons classements des séquences vidéo (30% des réponses correctes) que dans les mauvais classements (10% des erreurs majeures) (Test Dwass-Steel : p<0,01).

3.4. Cette détection dépend-t-elle du visage de la personne fatiguée ?

La répartition des réponses obtenues diffère selon les sujets fatigués à classer. Pour deux sujets (H95 et H122), le classement des 4 séquences vidéos est plus facile puisque respectivement 67% et 58% des réponses sont correctes, 25% et 26% sont des erreurs mineures et 8% et 16% des erreurs majeures (test khi2 H95-93 et H95-105 : p<0,001, H122-93 : p<0,001, H122-H105 : p<0,01). Pour les deux autres sujets fatigués (H105 et H93), le classement est plus difficile puisque nous observons un taux de bonnes réponses de seulement et respectivement 32% et 24%. 43% et 41% sont des erreurs mineures et 25% et 35% des erreurs majeures. Parallèlement les évaluateurs ont significativement moins confiance en leur classement lorsqu'ils classent des sujets comme H93 (5/10 de confiance et 6,1 à 6,7 /10 pour les trois autres sujets) (Test Dwass-Steel H95-H93 : p<0,001, H105-H93 : p<0,01 ; H122-H93 : p<0,001). L'indicateur *« yeux »* est utilisé par les évaluateurs quel que soit le sujet fatigué à analyser à savoir entre 95 à 99% de l'ensemble des évaluations réalisées (304 au total). Les indicateurs *« bouche »* et *« tête »* sont plus souvent utilisés pour des sujets plus faciles à classer comme H95 (respectivement 47% et 44%) que pour des sujets plus difficiles à classer comme H93 (3% et 19%) (Test Dwass-Steel H95-H93 *« bouche »* : p<0,001, *« tête »* : p<0,01).

4. DISCUSSION

Ces résultats nous permettent de répondre par l'affirmative à notre première question. Des évaluateurs humains militaires sont capables de détecter le degré de fatigue mentale/cognitive d'un sujet fatigué expérimentalement (45 minutes d'une tâche d'attention soutenue) en se basant uniquement sur la physionomie de son visage. Nos résultats mettent également en évidence que les yeux seraient le principal indicateur de ce degré de fatigue mentale. Mais l'addition d'autres indicateurs comme la tête et la bouche permettrait d'aider les évaluateurs dans leur capacité à mieux discriminer le degré de fatigue mentale du visage. Cette possibilité d'utiliser plusieurs indicateurs physionomiques (yeux, tête et bouche) rendrait plus facile la détection du degré de fatigue mentale d'un individu.

Ces différences individuelles dans la facilité/difficulté à détecter le degré de fatigue mentale d'un visage fatigué soulève la double question 1) de la nécessité d'établir des comparaisons intra-individuelles (visage fatigué versus non fatigué du même individu) et/ou d'établir des bases données de visages et 2) l'existence et les facteurs expliquant des différences individuelles dans cette capacité de détection du degré de fatigue mentale d'un visage avec par exemple le statut (militaire ou civil), l'expérience des évaluateurs (chef de groupe, responsable d'équipe, etc.) et/ou la connaissance de la fatigue mentale (théorique et pratique) des évaluateurs.

Ces résultats soulèvent également la question de l'efficacité dans la détection de la fatigue mentale d'un évaluateur humain comparativement à des outils numériques utilisant des algorithmes informatiques (réseaux de neurones, machine/deep learning, etc.).

5. REMERCIEMENTS, FINANCEMENTS ET MENTIONS ETHIQUES

5.1. Remerciements

Nous tenons à remercier mesdames Clara Lahaine, Solenn Lachèze et Solange Monternier respectivement membres et responsable du Crew Resource Management (CRM) à l'IRBA, pour nous avoir permis d'intervenir pendant leur formation et pourvoir faire passer notre étude aux militaires.

5.2. Financement

Cette étude CLAVIF a bénéficié d'un financement de la Direction Générale de l'Armement (Projet Biomedef SAN-1-515).

6. BIBLIOGRAPHIE

Balkin, Riedy, Rabat & Friedl. (2023). Toward a Sufferable Definition of Fatigue. In *The handbook of fatigue management : Wake up to challenge*. Editions CRC Press.

Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., Thompson, L. A., & Lieberman, H. R. (2019). Fatigue and its management in the workplace. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *96*, 272-289. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.10.024

Di Milia, L., Smolensky, M. H., Costa, G., Howarth, H. D., Ohayon, M. M., & Philip, P. (2011). Demographic factors, fatigue, and driving accidents : An examination of the published literature. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(2), 516-532. https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.018

Gurubhagavatula, I., Barger, L. K., Barnes, C. M., Basner, M., Boivin, D. B., Dawson, D., Drake, C. L., Flynn-Evans, E. E., Mysliwiec, V., Patterson, P. D., Reid, K. J., Samuels, C., Shattuck, N. L., Kazmi, U., Carandang, G., Heald, J. L., & Van Dongen, H. P. A. (2021). Guiding principles for determining work shift duration and addressing the effects of work shift duration on performance, safety, and health : Guidance from the American Academy of Sleep Medicine and the Sleep Research Society. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *17*(11), 2283-2306. https://doi.org/10.5664/jcsm.9512

Lim, J., Ebstein, R., Tse, C.-Y., Monakhov, M., Lai, P. S., Dinges, D. F., & Kwok, K. (2012). Dopaminergic Polymorphisms Associated with Time-on-Task Declines and Fatigue in the Psychomotor Vigilance Test. *PLOS ONE*, *7*(3), e33767. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033767

Lim, J., Wu, W., Wang, J., Detre, J. A., Dinges, D. F., & Rao, H. (2010). Imaging brain fatigue from sustained mental workload : An ASL perfusion study of the time-on-task effect. *NeuroImage*, *49*(4), 3426-3435. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.11.020

Phillips, R. O. (2015). A review of definitions of fatigue – And a step towards a whole definition. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *29*, 48-56. https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.01.003

Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., & Connor, J. L. (2011). The link between fatigue and safety. *Accident; Analysis and Prevention*, *43*(2), 498-515. https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.011

Wise, J. M., Heaton, K., & Patrician, P. (2019). Fatigue in Long-Haul Truck Drivers : A Concept Analysis. *Workplace Health & Safety*, *67*(2), 68-77. https://doi.org/10.1177/2165079918800509

P9 : *Une recherche-action sur la reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise*

Clothilde Rosier
Université Gustave Eiffel, Campus de Lyon, case 24, 25 avenue F. Mitterrand, 69675 Bron Cedex
clothilde.rosier@etu.u-paris.fr

Catherine Gabaude
Université Gustave Eiffel, Campus de Lyon, case 24, 25 avenue F. Mitterrand, 69675 Bron Cedex
catherine.gabaude@univ-eiffel.fr

RÉSUMÉ

Dans une approche analytique de la performance, ce travail vise à re-questionner les dimensions comportementales de l'aptitude à la conduite en observant les composantes explicites et implicites de la compétence de conduite auprès de personnes présentant une lésion cérébrale acquise non évolutive. Cette recherche-action va permettre de distinguer le potentiel de ressources dont la personne dispose et ses compétences à agir en situation. Ce travail contribue à identifier les déterminants de l'expertise pour le conducteur et les professionnels accompagnant leur retour à la conduite et les ressorts pour l'activité humaine finalisée.

MOTS-CLÉS

Aptitude, capacités, habiletés, compétences, performance.

1. INTRODUCTION

Lorsqu'il se trouve au volant, le conducteur doit à chaque instant comprendre son environnement, anticiper, décider et agir. En cas de survenue de déficits neurologiques temporaires ou permanents, il doit parfois réapprendre cette activité. Il est parfois appelé à développer des savoir-faire expérientiels qui contribuent à l'acquisition de nouvelles habiletés (Darses, 2019). Alors que le véhicule ne cesse d'évoluer en étant de plus en plus automatisé, il est aussi intéressant, dans une approche analytique de la performance, de re-questionner les dimensions comportementales de l'aptitude à la conduite en observant les composantes explicites et implicites de la compétence de conduite en particulier auprès de personnes pouvant présenter un handicap invisible ou de l'anosognosie.

Les Lésions Cérébrales Acquises Non Evolutives (LCANE : accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, encéphalite, méningo-encéphalite, anoxie cérébrale) peuvent être à l'origine de troubles cognitivo-comportementaux et sensori-moteurs susceptibles d'altérer la capacité de la personne à garantir une conduite sécurisée, entrainant une possible surexposition au risque routier avec un risque relatif de 2,3 (Formisano et al., 2005 ; Lundqvist et al. 2008). A ce jour, selon l'arrêté du 28 mars 2022, « le conducteur atteint de certaines affections médicales [comprenant les LCANE] est soumis à un contrôle médical » auprès d'un médecin agréé par le préfet qui doit tenir compte d'un bilan réalisé par une équipe pluriprofessionnelle. Selon les recommandations de bonnes pratiques labellisées par la Haute Autorité de Santé (HAS) en 2016, l'évaluation pluriprofessionnelle doit en partie être basée sur les fonctions sensitivo-motrices (médecin MPR, ergothérapeute), cognitives (neuropsychologue), et en cas de séquelles repérées, une évaluation sur route (ESR) avec un moniteur d'auto-école et un ergothérapeute et/ou neuropsychologue. A ce jour, cette ESR est mise en œuvre

par de nombreux services de Soins Médicaux et de Réadaptation (SMR) qui ont adopté des méthodes différentes pour la réaliser (diversité des outils utilisés, attributions variées des rôles de chaque professionnel, transmission des résultats du bilan grâce à des méthodes différentes…).

Dans une démarche de recherche-action visant à faire évoluer les pratiques de terrains, nous observons au sein d'une dizaine de centres SMR du REseau de Soins et d'ACcompagnement des personnes CErébroLésées (Resaccel), la mise en place de la recommandation HAS et accompagnons la co-construction d'un protocole d'évaluation pluriprofessionnelle adaptatif des capacités de conduite des personnes cérébrolésées. Ce travail va permettre de contribuer à identifier les déterminants de l'expertise pour le conducteur et les professionnels accompagnant leur retour à la conduite, des pistes pour formuler des recommandations pour les conducteurs et enfin les voies d'amélioration pour l'évaluation de la conduite, la formation à la conduite et le développement d'assistance à la conduite qui permettent la compensation et la suppléance.

2. METHODE

La méthodologie de cette recherche-action (Figure 23) consiste à mener des plans d'actions en collaboration avec les centres SMR du Resaccel pour parvenir à un consensus de pratique. Pour chaque problématique abordée, des solutions sont envisagées en collaboration (établissement d'un plan d'action) pour être ensuite testées sur le terrain par les parties prenantes (action). Ces problématiques sont abordées lors de « focus groups » composés des différents professionnels des SMR qui sont impliqués dans l'évaluation des capacités de conduite de leurs patients (médecins MPR, neuropsychologues, ergothérapeutes, moniteurs d'auto-école, cadres de santé et de rééducation…). Ces groupes de discussion sont menés à l'échelle régionale (regroupant les SMR volontaires de la région Auvergne-Rhône-Alpes) mais également départementale pour certains départements (Rhône Savoie et Haute-Savoie). Lors des réunions de groupe, un guide de discussion est tenu par l'animateur (analyse qualitative) et permet de recueillir les données concernant l'élaboration du plan d'action. Après chaque focus group, un sondage (analyse quantitative) permet de co-juger la pertinence de l'action, sur une base statistiquement fiable. La démarche est alors reconduite jusqu'à ce que l'action soit considérée comme suffisamment satisfaisante par les parties prenantes (consensus).

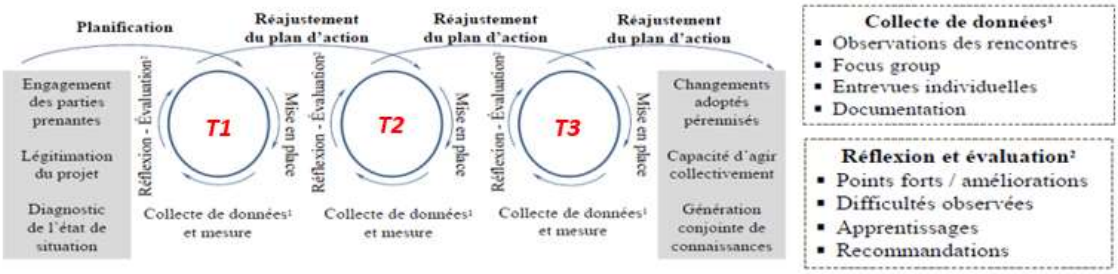


Figure 23 : Méthodologie d'une recherche-action (Roy et Prévost, 2013)

3. RESULTATS

Les étapes préliminaires au montage de cette recherche action ont été menées grâce au soutien du Resaccel (réunions départementales mensuelles et organisation de trois réunions régionales spécifiques). Les résultats de cette recherche se présentent en trois temps (T1 à T3).

T1 : Cette recherche-action a débuté en mars 2018, dans le cadre d'une enquête régionale du Resaccel (état des lieux du fonctionnement des dispositifs d'évaluation pluriprofessionnelle ; Biocchietti et al., 2018). Les pratiques régionales de dix dispositifs d'évaluation de la conduite au sein de six départements de la région Auvergne-Rhône-Alpes ont été recueillies via des questionnaires transmis aux professionnels et comparées aux recommandations éditées par la HAS en 2016. A partir de

l'analyse des pratiques de terrain de ces structures et en visant les recommandations de bonnes pratiques, des perspectives de travail régionales ont été identifiées par les groupes de professionnels avec une volonté de bonification des pratiques au sein de ces dispositifs :

- Amélioration des modalités de repérage et adressage des patients vers les dispositifs
- Renforcement des liens avec les acteurs locaux notamment les médecins agréés et généralistes
- Homogénéisation des outils d'évaluation et notamment de la grille d'évaluation sur route
- Création d'une brochure commune d'information au patient
- Systématisation du compte-rendu et de la restitution orale
- Participation au montage d'une étude multicentrique

Pour atteindre ces objectifs, les temps 2 et 3 de la recherche-action se concentrent sur l'homogénéisation des outils d'évaluation et la systématisation des écrits professionnels et de la restitution au patient, par le biais d'une étude multicentrique.

T2 : Des groupes de travail ont été constitués à l'échelle départementale et régionale afin de répondre à ces objectifs. Parallèlement, des enquêtes auprès des différents professionnels de santé ont permis de guider les modalités d'évaluation pluriprofessionnelle et notamment le choix des outils. Un comité scientifique composé d'experts a également été constitué afin de valider scientifiquement le choix des méthodes identifiées. A partir de la constellation des données émanant des groupes de travail, celles issues de la littérature et des réunions de consensus avec le comité scientifique, un protocole d'évaluation pluriprofessionnelle a pu être co-construit à partir des deux problématiques identifiées :

1) évaluation sur route

Tout d'abord, une veille bibliographique recensant les outils d'évaluation sur route a permis de mettre en évidence l'intérêt de la TRIP (Test Ride for Investigating Practical Fitness to Drive), une grille d'observation dont l'utilisation a été adoptée de manière consensuelle par plusieurs SMR suite aux groupes de travail. Un parcours type a été ensuite co-réfléchi par les acteurs de la recherche-action afin de standardiser au mieux l'évaluation sur route malgré la diversité des environnements dépendants de la situation géographique de chaque SMR. Il a été défini selon les recommandations de la HAS, en prenant en compte la durée de la mise en situation et la diversité des situations de conduites à rencontrer au cours de l'évaluation.

2) évaluation neuropsychologique

De la même manière, les données de la littérature ont permis de répertorier les tests neuropsychologiques les plus pertinents à utiliser dans le cadre de l'évaluation des capacités cognitivo-comportementales nécessaires à l'activité de conduite. Un sondage réalisé auprès de huit SMR a ensuite participé à la sélection de certains outils pré-identifiés, selon leur disponibilité dans les structures afin de s'assurer de la faisabilité de l'étude. Par la suite, lors de groupes de travail principalement composés de neuropsychologues, le choix de ces outils a été précisé selon les tableaux cognitivo-comportementaux des patients rencontrés et les pratiques habituelles de terrain (ex. choix d'épreuves non verbales uniquement afin de ne pas exclure les patients aphasiques).

T3 : Ce protocole d'évaluation des capacités de conduite collectivement standardisé sera mis en place au cours d'une étude multicentrique menée parallèlement à la recherche-action. Au terme de l'étude multicentrique, les étapes suivantes de cette recherche-action consisteront à co-ajuster ce protocole à partir des retours des pratiques de terrains abordés lors de focus groups afin de parvenir à un consensus de pratique jugée optimale. L'application du protocole d'évaluation neuropsychologique et sur route par les SMR au cours de cette étude multicentrique permettra de mettre en lumière les déterminants de l'expertise de conduite. Pour cela, nous chercherons à identifier les stratégies d'autorégulation qui concordent avec l'avis des professionnels sur la capacité de conduite afin de

préciser la pertinence des outils d'évaluation. Plus particulièrement, l'évaluation de la métacognition semble représenter un déterminant principal des stratégies d'autorégulation puisque le niveau de conscience des troubles est corrélé aux capacités de conduite en situation réelle (Griffen et al., 2011).

Dans un objectif secondaire, la question des écrits professionnels sera abordée lors des groupes de travail afin d'harmoniser la méthode de communication des conclusions de l'évaluation pluriprofessionnelle à destination du médecin agréé.

4. BIBLIOGRAPHIE

Arrêté du 28 mars 2022 fixant la liste des affections médicales incompatibles ou compatibles avec ou sans aménagements ou restrictions pour l'obtention, le renouvellement ou le maintien du permis de conduire ou pouvant donner lieu à la délivrance de permis de conduire de durée de validité limitée (refonte) - Légifrance, https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000045464094 (accessed 3 November 2022).

Association Comète France. Reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise non évolutive. Méthode Recommandations pour la pratique clinique. Janv 2016., https://www.cometefrance.com/wp-content/uploads/2016/06/RECOMMANDATION-25.01.2016.pdf (accessed 3 November 2022).

Biocchietti C., Carreira A., Ferrier A., Gabaude C., Gojon V., Guilloud M., Monnin N., Mulaton S., Régnier M. et al. (2018). Reprise de la conduite automobile après une lésion cérébrale acquise : un état des lieux des dispositifs d'évaluation pluriprofessionnelle en Auverge-Rhone-Alpes. Assemblée Générale du Resaccel, 20 mars, Maison de Malaz Seynod, Annecy, France.

Darses, F. (2019). Psychologie ergonomique. Dans : Gérard Valléry éd., Psychologie du Travail et des Organisations : 110 notions clés,pp. 350-352. Paris: Dunod. https://doi.org/10.3917/dunod.valle.2019.01.0350

Formisano, R., Bivona, U., Brunelli, S., Giustini, M., Longo, E. et Taggi F. (2005) A preliminary investigation of road traffic accident rate after severe brain injury. Brain Injury, 19(3), 159-63.

Griffen, J. A., Rapport, L. J., Bryer, R. C., Bieliauskas, L. A., & Burt, C. (2011). Awareness of deficits and on-road driving performance. *The Clinical Neuropsychologist*, *25*(7), 1158-1178.

Lundqvist, A., Alinder, J. et Rönnberg, J. (2008). Factors influencing driving 10 years after brain injury. Brain Injury, 22(4), 295-304.

Roy, M., & Prévost, P. (2013). La recherche-action: origines, caractéristiques et implications de son utilisation dans les sciences de la gestion. *Recherches qualitatives, 32*(2), 129-151.

P10 : *Facteurs cognitifs dans l'intégration de prothèses : Perspectives et développements.*

Jean-Victor Steinlein[1,2], Marine Taffou[2] & Frédérique de Vignemont[2],

1 : Institut de Recherche Biomédicale des Armées, 91220, Brétigny-sur-Orge, France

2 : Institut Jean Nicod (CNRS – ENS – EHESS), 75005, Paris, France

jsteinlein@protonmail.com

frederique.de.vignemont@ens.fr

marine.taffou@def.gouv.fr

RÉSUMÉ

Malgré une technologie prothétique toujours plus performante, le taux d'abandon chez les amputés est très élevé. Pour faire face à ce problème, nous proposons de considérer certains facteurs cognitifs qui sous-tendent l'acceptation de prothèses. Notamment, l'intégration de prothèses dans les représentations cognitives du corps. Nous présentons trois types de représentations en lien avec le corps : (i) le corps dans la perception, (ii) le corps dans l'action, et (iii) l'espace péripersonnel. Pour chaque représentation, nous discutons le potentiel pour une prothèse d'y être intégrée, ainsi que les conséquences que cela pourrait avoir sur le développement de prothèses et de nouvelles thérapies de rééducation. Même si ce champ d'investigation est récent et qu'un grand nombre de questions théoriques et empiriques restent ouvertes, la considération des facteurs cognitifs liés au corps peut jouer un rôle clé pour améliorer l'acceptation de prothèses chez les amputés.

MOTS-CLÉS

Prothèses, Amputation, Réhabilitation, Représentation Cognitive du Corps, Intégration Multisensorielle

1. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, des progrès technologiques significatifs ont permis le développement de nouvelles générations de prothèses toujours plus sophistiquées (Svensson et al., 2017). Cependant, les taux d'utilisation de prothèses restent exceptionnellement bas, certaines études indiquant 40% d'abandon (Biddis & Lau, 2007). Pour expliquer et faire face à cette disparité, il est crucial de comprendre les facteurs qui sous-tendent l'acceptation et l'abandon de prothèses.

Dans un cadre ergonomique, la réhabilitation prothétique consiste à restaurer, compenser ou recomposer les fonctions défaillantes de l'individu (Brangier & Pino, 2002). D'un point de vue purement *fonctionnel*, une prothèse permet ou simplifie certains types d'actions. Par exemple, des actions bimanuelles (ouvrir une bouteille, fermer un bouton, etc.) pour des amputés unilatéraux du membre supérieur. Cependant, il est important de noter que chaque individu évolue aussi dans des environnements *sociaux*, *médicaux* et *physiques* uniques et rencontre donc des difficultés et besoins particuliers (ibid.).

Une approche qui permet de déterminer quel type de prothèse correspond le mieux à chaque individu est de prendre en compte (A) les fonctions que l'individu veut accomplir, (B) les normes et l'acceptation sociale autour de différents types de prothèses, mais aussi (C) le niveau d'usabilité de différentes prothèses (p.ex., confort, efficacité, facilité d'usage) (ibid.). L'amélioration de l'*usabilité* de prothèses

est un levier central pour l'ergonomie pour permettre une meilleure réhabilitation et intégration de l'outil prothétique et sera donc au centre de nos considérations.

Pour améliorer les facteurs liés à l'usabilité de prothèses, l'ergonomie s'est principalement concentrée sur l'amélioration des propriétés physiques du dispositif prothétique, telles que le matériel, la forme, le mécanisme de transduction motrice, etc. (Clark et al., 2020; Trent et al., 2019). Cependant, un aspect souvent négligé concerne la compréhension et l'exploitation de certains aspects *cognitifs* en lien avec les représentations du corps (Niedernhuber et al., 2018). En effet, nous entretenons une relation unique avec notre corps, qui est représenté de manière particulière dans notre cerveau (de Vignemont, 2023). Comme les prothèses remplacent une partie du corps, leur intégration dans ces représentations pourrait améliorer leur usabilité, en améliorant le confort, la fluidité, etc. (Niedernhuber et al., 2018). Une meilleure connaissance de l'intégration cognitive de prothèses pourrait donc non seulement améliorer la conception de nouvelles générations de prothèses, mais aussi influencer des nouvelles approches thérapeutiques en rééducation. Ici, nous allons décrire trois types de représentations corporelles, montrer si et comment les prothèses pourraient y être intégrées, et décrire de potentielles perspectives futures.

2. LE CORPS POUR LA PERCEPTION

À chaque instant, nous percevons une quantité importante de sensations provenant de notre corps. En effet, nous recevons des informations par nos systèmes visuels et auditifs, ainsi que par nos systèmes tactiles, vestibulaires et proprioceptifs. Ces informations sont intégrées par notre cerveau pour construire une représentation perceptible de notre corps. Cette représentation permet, entre autres, de déterminer la position de notre corps dans l'espace, ainsi que la taille et les dimensions de nos différents membres. Nous pouvons appeler cette représentation, le *corps pour la perception* (de Vignemont, 2023). Qu'en est-il des prothèses ? Peuvent-elles être intégrées dans cette représentation ?

Certaines études montrent que l'intégration d'un objet non-corporel dans cette représentation est possible. Dans l'illusion de la main en caoutchouc (IMC), la main d'un sujet est cachée, et est stimulée tactilement de manière synchrone avec une main artificielle placée dans le champ de vision du même sujet (Botvinick & Cohen, 1998). Ainsi, le patient *ressent* la stimulation sur sa vraie main, mais *voit* la stimulation sur la main en caoutchouc. Après quelques minutes, lorsqu'on demande au sujet de déterminer l'emplacement de sa main réelle, il se trompe, indiquant un emplacement décalé vers l'endroit où est la fausse main. Cela montre que si une prothèse fournit un retour d'information sensoriel, elle pourrait être intégrée dans la représentation perceptuelle du corps. Il est alors intéressant de noter que la technologie prothétique de pointe a commencé à développer différents types de feedbacks sensoriels, allant de la stimulation tactile du moignon, à la stimulation électrique de nerfs afférents ou à la stimulation du cortex sensoriel (Svensson et al., 2017). Il est intéressant de noter qu'une étude a démontré qu'un feedback sensoriel par voie nerveuse pouvait donner l'impression qu'une prothèse était moins lourde (Preatoni et al., 2021). Sans même devoir recréer une stimulation sensorielle directe, l'utilisation de certains matériaux plus conducteurs de vibrations pourrait déjà favoriser une intégration entre la vision et le toucher. L'IMC est également très intéressante car elle crée chez certaines personnes un sentiment d'appartenance envers la fausse main, associé à un sentiment de peur si la main est menacée. Ces caractéristiques pourraient également être bénéfiques pour l'acceptation de prothèses.

Cependant, même si le sujet indique *percevoir* un emplacement de sa main décalé par rapport à sa position initiale dans l'IMC, ce décalage ne se reflète *pas* quand le sujet fait un mouvement d'approche avec la même main (Kammers et al., 2009). Autrement dit, la trajectoire motrice ne prend pas en compte la position décalée de la main, mais considère sa vraie position. Cela indique que deux représentations différentes sous-tendraient (i) la perception et (ii) l'action du corps respectivement

(de Vignemont, 2023). De ce fait, même si les prothèses sont intégrées dans la représentation du *corps pour la perception* à travers un retour sensoriel comme dans l'IMC, il reste incertain de savoir si elles peuvent aussi être intégrées dans la représentation du *corps pour l'action*. Cependant, il semble que ceci soit bien possible.

3. LE CORPS POUR L'ACTION

Des études ont montré qu'après l'utilisation temporaire d'un outil rallongeant le bras, les trajectoires dans la planification et le contrôle moteur de l'action du bras étaient altérés chez des sujets sains (Cardinali et al., 2009). Chez des personnes amputées, il a été montré que le port de prothèses modifie la qualité des mouvements pendant et après l'appareillage (Mayer et al., 2008). Il est donc plausible de penser que les prothèses soient intégrées dans la représentation corporelle pour l'action.

Cependant, répondre à cette question pourrait être plus compliqué qu'il ne parait. En effet, certains chercheurs ont argumenté que la représentation du corps pour l'action est séparée en deux sous-types différents : une représentation pour les *actions d'approche* et une pour les *actions défensives* (de Vignemont, 2023). Les actions d'approche consistent en des actions effectuées en direction d'un objet pour un but particulier (p.ex., atteindre de la nourriture), alors que les actions défensives concernent les mouvements effectués pour la protection de l'individu. Il est intéressant de noter que dans la défense, le corps joue un rôle double : Il n'est pas seulement ce qui *défend*, mais aussi ce qui *est défendu*. Ainsi, ma main peut me protéger d'un danger (p.ex., pour éloigner une guêpe), ou peut elle-même *être* en danger (p.ex., quand une guêpe la pique).

En résumé, il n'est pas clair si une prothèse est nécessairement intégrée dans tous ces types de représentations en même temps et de manière égale, ou bien s'il peut y avoir des dissociations. Si une prothèse est intégrée dans les modèles *d'approches*, est-elle automatiquement intégrée dans les modèles *défensifs* ? Concernant les représentations défensives, il semble clair que notre prothèse devrait pouvoir être utilisée pour se défendre, mais serait-il aussi souhaitable qu'elle soit *défendue* comme une partie du corps ? D'un autre côté, nous pouvons envisager des techniques de rééducation consistant à menacer la prothèse (de manière éthique) si cela amenait à favoriser son intégration. D'un point de vue théorique comme d'un point de vue plus appliqué, un large domaine de recherche s'ouvre sur ces questions.

4. L'ESPACE PERIPERSONNEL

Une troisième représentation cognitive importante impliquant le corps est *l'espace péripersonnel* (EPP). Au cours des dernières décennies, des neurones multisensoriels ont été découverts dans le cerveau des singes (Rizzolatti et al., 1981). Ces neurones réagissent non seulement à la stimulation tactile de certaines parties du corps (p.ex., la tête, le bras, le tronc), mais aussi à des stimuli visuels et auditifs présentés *à proximité* de ces parties du corps. L'étendue de la zone de réponse de l'EPP a été démontrée comme fortement liée à l'action et hautement malléable. Ainsi, la zone autour du bras augmente après l'utilisation d'un outil (Canzoneri et al., 2013a), et diminue après l'immobilisation du membre (Bassolino et al., 2015).

Différentes fonctions de l'EPP ont été proposées : Il pourrait être lié à un système de prédiction d'impact ou à un système faisant efficacement le lien entre la perception et l'action (Serino, 2019). Certains chercheurs ont proposé que l'EPP pourrait être séparé en deux catégories : l'EPP *d'approche* et l'EPP *défensif* (de Vignemont, 2023). Le premier serait lié aux actions engageant vers le monde, alors que le deuxième serait lié à des actions élaborées après intrusion d'un objet dans une zone de danger critique. Nous pouvons noter la proche correspondance de l'EPP avec la *représentation pour l'action*, pour laquelle nous avions proposé une dissociation similaire. Malgré cette similarité, le lien entre ces deux représentations n'est pas clair. Une importante différence concerne leur étendue spatiale. Si la

représentation pour l'action engage toutes les parties du corps couverte par des muscles ou des tendons, l'EPP ne concerne que certaines parties centrales comme la tête, le tronc ou les mains (Serino, 2019). Il est nécessaire de poursuivre les travaux de recherche pour délimiter les interactions et différences de ces deux représentations.

Chez les amputés, une étude a démontré que l'EPP peut évoluer de manière très souple. Il est raccourci vers le moignon lorsque la prothèse n'est pas portée et peut reprendre sa taille normale lorsque la prothèse est portée (Canzoneri et al., 2013b). Malheureusement, il existe très peu d'études portant sur les changements de l'EPP après l'amputation et l'appareillage.

Une question importante concerne les interactions entre différentes parties du corps dans l'EPP. Si certaines études précédentes montrent que des modifications des propriétés d'actions d'un bras (p.ex., immobilisation ou amputation) impactent l'EPP du même bras, aucune étude montre comment ces mêmes modifications affectent l'EPP *d'autres* parties du corps, comme l'autre bras, le torse ou le visage. Une telle recherche porterait un potentiel important pour la rééducation prothétique, car elle pourrait permettre un suivi de l'EPP chez des patients amputés qui ont perdu la totalité de leur membre. Ainsi, un suivi de l'évolution de l'EPP autour des différentes parties du corps pourrait permettre de mieux comprendre les processus d'intégration multisensorielle pendant l'appareillage et de la rééducation. D'autre part, ce type de recherche apporterait aussi une vision plus globale du corps dans la rééducation. Pour favoriser l'intégration de prothèses, des exercices de stimulation multisensorielle favorisant le développement de l'EPP pourraient ainsi potentiellement être utilisés sur le bras amputé, mais aussi sur d'autres parties du corps.

5. CONCLUSION

Dans ce texte, nous avons vu trois types différents de représentation du corps : (a) le corps pour la perception ; (b) le corps pour l'action ; et (c) l'espace péripersonnel. Nous avons discuté pour chaque représentation si une prothèse pouvait y être intégrée, et la réponse est positive dans tous les cas. Cependant, nous avons aussi vu la complexité et le vaste champ de questions qui s'ouvre par rapport à chacune de ces représentations. L'intégration de prothèses dans ces schémas pourrait améliorer l'*usabilité* de prothèses et ainsi améliorer le confort, la facilité d'usage et la qualité de vie de patients. En parallèle, le développement de nouvelles méthodes objectives pour mesurer cette intégration pourrait ouvrir des possibilités significatives pour l'accompagnement thérapeutique. L'enjeu thérapeutique et industriel de ces questionnements est donc très important et appelle à l'intensification des travaux de recherche sur les facteurs cognitifs liés à l'intégration et l'acceptation de prothèses.

6. BIBLIOGRAPHIE

Bassolino, M., Finisguerra, A., Canzoneri, E., Serino, A., & Pozzo, T. (2015). Dissociating effect of upper limb non-use and overuse on space and body representations. *Neuropsychologia*, *70*, 385-392.

Biddiss, E. A., & Chau, T. T. (2007). Upper limb prosthesis use and abandonment: a survey of the last 25 years. *Prosthetics and orthotics international*, *31*(3), 236-257.

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, *391*(6669), 756-756.

Brangier, E., & Pino, P. (2002). Approche ergonomique de la réhabilitation de personnes handicapées tétraplégiques et aphasiques: ergonomie de conception de systèmes prototypes dédiés à la fin de vie. *Communication présentée à ERGO'IA: L'homme et les nouvelles technologies de l'information et de la communication: usages et usagers. Biarritz, France*.

Canzoneri, E., Marzolla, M., Amoresano, A., Verni, G., & Serino, A. (2013b). Amputation and prosthesis implantation shape body and peripersonal space representations. *Scientific reports*, *3*(1), 1-8.

Canzoneri, E., Ubaldi, S., Rastelli, V., Finisguerra, A., Bassolino, M., & Serino, A. (2013a). Tool-use reshapes the boundaries of body and peripersonal space representations. *Experimental brain research*, *228*, 25-42.

Cardinali, L., Frassinetti, F., Brozzoli, C., Urquizar, C., Roy, A. C., & Farnè, A. (2009). Tool-use induces morphological updating of the body schema. *Current biology*, *19*(12), R478-R479.

Clark, G., Campbell, J., & Amor, H. B. (2020). Learning predictive models for ergonomic control of prosthetic devices. *arXiv preprint arXiv:2011.07005*.

De Vignemont, F. (2023). *Désenchanter le corps.* Odile Jacob.

Kammers, M. P., de Vignemont, F., Verhagen, L., & Dijkerman, H. C. (2009). The rubber hand illusion in action. *Neuropsychologia*, *47*(1), 204-211.

Mayer, A., Kudar, K., Bretz, K., & Tihanyi, J. (2008). Body schema and body awareness of amputees. *Prosthetics and orthotics international*, *32*(3), 363-382.

Niedernhuber, M., Barone, D. G., & Lenggenhager, B. (2018). Prostheses as extensions of the body: Progress and challenges. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *92*, 1-6.

Preatoni, G., Valle, G., Petrini, F. M., & Raspopovic, S. (2021). Lightening the perceived prosthesis weight with neural embodiment promoted by sensory feedback. *Current Biology*, *31*(5), 1065-1071.

Rizzolatti, G., Scandolara, C., Matelli, M., & Gentilucci, M. (1981). Afferent properties of periarcuate neurons in macaque monkeys. II. Visual responses. *Behavioural brain research*, *2*(2), 147-163.

Serino, A. (2019). Peripersonal space (PPS) as a multisensory interface between the individual and the environment, defining the space of the self. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *99*, 138-159.

Svensson, P., Wijk, U., Björkman, A., & Antfolk, C. (2017). A review of invasive and non-invasive sensory feedback in upper limb prostheses. *Expert review of medical devices*, *14*(6), 439-447.

Trent, L., Intintoli, M., Prigge, P., Bollinger, C., Walters, L. S., Conyers, D., ... & Ryan, T. (2019). A narrative review: current upper limb prosthetic options and design. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.

P11 : *Les gestes professionnels non verbaux d'enseignants en situation de classe : fonctions et efficacité*

Madison Dave, Laurie Anna Dubois, Marie Bocquillon & Agnès Van Daele

Université de Mons, madison.dave@umons.ac.be

Université de Mons, laurie-anna.dubois@umons.ac.be

Université de Mons, marie.bocquillon@umons.ac.be

Université de Mons, agnes.vandaele@umons.ac.be

RÉSUMÉ

Dans leur activité professionnelle, les enseignants, afin d'amener des apprenants à développer des connaissances et compétences, emploient des gestes professionnels permettant d'interagir avec les apprenants et assurant différentes fonctions telles que la gestion des apprentissages et la gestion de classe. Si ces interactions ont déjà été étudiées sous leurs manifestations verbales, elles l'ont été beaucoup moins sous leurs manifestations non verbales. Dans ce contexte, quatre enseignants de langues modernes ont été observés en train d'exercer leur activité professionnelle durant six heures. Leurs gestes professionnels non verbaux ont ensuite été analysés selon leur fonction. Il en ressort qu'un tier des gestes professionnels des enseignants sont non verbaux. Ceux-ci servent principalement à clarifier le discours oral de l'enseignant ainsi qu'à la gestion de classe avec une efficacité moindre pour la gestion de participation des élèves que pour la gestion de la discipline. Concernant la gestion des apprentissages, les gestes professionnels non verbaux des enseignants sont moins fréquents et moins efficaces.

MOTS-CLÉS

Enseignement, analyse de l'activité, gestes professionnels, interactions, non-verbal

1. INTRODUCTIO N

L'activité professionnelle des enseignants vise à développer chez des apprenants des connaissances et compétences, en modifiant le rapport entre ces apprenants et le contenu enseigné (Rogalski, 2007). Cet apprentissage ne dépendant qu'en partie de l'activité des apprenants, l'activité des enseignants peut être considérée comme une activité de gestion d'un environnement dynamique : la situation de classe (Rogalski, 2007).

Pour assurer cette gestion, les enseignants emploient des gestes professionnels, c'est-à-dire des actions pouvant prendre la forme d'actes de langage, de mouvements corporels ou d'expressions faciales (Brudermann & Pélissier, 2008). Ceux-ci peuvent donc relever du registre verbal mais aussi non verbal et présentent un point commun : la communication entre l'enseignant et les élèves, ce qui va permettre l'apprentissage (Lapointe, 2016).

2. LES GESTES PROFESSIONNELS DES ENSEIGNANTS

Les enseignants emploient différents gestes professionnels qui peuvent se manifester sous diverses formes et qui se répartissent en deux catégories : les pratiques enseignantes et les pratiques d'enseignement (Bocquillon, 2020). Les pratiques enseignantes représentent les actions des

enseignants pour mettre en place, évaluer et ajuster les situations d'apprentissage tandis que les pratiques d'enseignement regroupent les actions réalisées lors de la situation de classe, en présence des élèves. Celles-ci dépendent de l'évolution de la situation de classe ainsi que des objectifs que les enseignants poursuivent (Rogalski, 2007). Chaque pratique d'enseignement assure une fonction particulière et passe par la communication entre l'enseignant et les apprenants.

Cependant, toutes les pratiques d'enseignement n'ont pas la même efficacité et peuvent faire varier les performances des élèves. Cet effet, appelé « effet-maître » ou « effet-enseignant », expliquerait 10 à 20 % des différences entre les résultats des élèves (Talbot, 2012). Pour améliorer les performances des élèves, les enseignants devraient employer des pratiques d'enseignement, verbales ou non, qualifiées d'efficaces qui répondent à trois conditions : élever la moyenne globale des résultats des élèves, réduire la variance entre ces résultats et amoindrir la corrélation entre l'origine socioéconomique des élèves et leurs résultats (Bloom, 1979).

Les pratiques d'enseignement non verbales constituent donc un élément à part entière de l'action pédagogique et peuvent avoir un impact sur l'efficacité de l'enseignement (Lapointe, 2016). Néanmoins, dans le monde francophone, peu d'études ont été menées sur l'observation de ces pratiques en situation de classe. L'observation est ici primordiale puisque les enseignants, ayant souvent peu conscience de leurs pratiques, pourraient ne pas être capables de les décrire fidèlement (Bocquillon, 2020).

3. MÉTHODE

Dans ce contexte, l'étude menée porte principalement sur les gestes professionnels non verbaux de quatre enseignants observés en situation de classe et vise à déterminer l'importance, les fonctions et l'efficacité de ces gestes. Les participants enseignent les langues modernes depuis au minimum 5 années et ont été filmés en train de donner cours à une classe de 1re année et une classe de 3e année de l'enseignement secondaire, à raison de trois heures par classe. Les enregistrements ont été codés à partir de la grille « Miroir des Gestes Professionnels » de Bocquillon et al. (2017), et intégrés dans la plateforme de codage « Vosaic Connect ».

Cette grille permet au chercheur de classer les gestes professionnels des enseignants selon leur fonction. Elle est divisée en deux groupes de catégories : la gestion de classe (organisation de la vie en classe) et la gestion des apprentissages (enseignement des matières), elles-mêmes subdivisées en catégories et modalités. Les catégories représentent les fonctions des gestes professionnels tandis que les modalités précisent ces catégories (Bocquillon, 2020). Le tableau 1 présente la grille. La modalité la plus efficace de chaque catégorie est en gras[41].

Tableau 1 : Grille de codage des gestes professionnels

Groupe de catégories	Catégories	Modalités
Gestion de classe	Gestion de la participation	Désignation d'un élève parmi les volontaires
		Désignation d'un élève parmi les non volontaires
		Désignation de groupe
		Désignation aléatoire
	Gestion de la discipline	Interventions correctives
		Interventions préventives
	Gestion de l'espace, du temps et logistique	
	Présentation	Consignes

[41] La mise en évidence des gestes professionnels efficaces s'est faite sur base des travaux de Bocquillon (2020) qui les a répertoriés à partir de méta-analyses (Bissonnette et al. 2010) permettant d'évaluer leur efficacité en fixant le seuil à une taille d'effet supérieure ou égale à 0.4.

Gestion des apprentissages		Aspects importants
		Instruction générale
	Objectivation	Objectivation stéréotypée de la compréhension
		Objectivation spécifique de la compréhension
		Objectivation de contenu
		Objectivation de l'opinion
	Feedback	Feedback stéréotypé
		Feedback spécifique
		Feedback de développement
		Feedback sollicitant une évaluation par l'élève ou par les pairs
		Feedback personnel
	Clarification du discours	

Lorsque, par exemple, le chercheur repère à partir de l'enregistrement vidéo que l'enseignant désigne un élève en le pointant du doigt, il code le geste comme ayant pour fonction la gestion de la participation et ayant pour modalité une désignation d'un élève parmi les volontaires. Après codage des gestes professionnels des enseignants observés, leurs occurrences ont été relevées, et leur efficacité a été déterminée.

4. RÉSULTATS

Les résultats montrent que les gestes professionnels des enseignants sont majoritairement verbaux. Près de deux-tiers de ces gestes (68.85 %) se manifestent de manière verbale tandis qu'un tier d'entre eux (31.15 %) sont non verbaux.

Concernant les fonctions des gestes professionnels non verbaux des enseignants observés, il ressort que certaines d'entre-elles sont plus fréquentes que les autres (tableau 2). Les deux fonctions les plus fréquentes sont : la clarification du discours (lorsque les enseignants miment quelque chose en l'énonçant, par exemple) et la gestion de participation lorsque les enseignants désignent les élèves du regard ou en les pointant du doigt). Les deux autres fonctions les plus fréquentes sont : la gestion de la discipline (préventive et corrective) et le feedback.

Tableau 2 : Fréquence (par ordre décroissant) des gestes professionnels non verbaux selon leur fonction.

Fonctions des gestes professionnels non verbaux	
Clarification du discours	27,30 %
Désignation parmi les non volontaires	16,34 %
Désignation parmi les volontaires	11,94 %
Feedback stéréotypé	11,35 %
Gestion préventive de la discipline	9,10 %
Gestion corrective de la discipline	7,50 %
…	…

En ce qui concerne l'efficacité, il convient de noter que pour la gestion de participation et pour le feedback, ce ne sont pas les gestes les plus efficaces qui sont utilisés. Ainsi, dans la catégorie « gestion de participation », ce sont les désignations parmi les volontaires ou les non volontaires (et non la désignation aléatoire) qui sont les plus fréquentes. Dans la catégorie « feedback », ce sont les feedbacks stéréotypés (tels qu'un pouce en l'air pour demander aux élèves s'ils ont compris ou un mouvement de la main pour signifier que la réponse n'est pas tout à fait correcte) qui sont les plus employés. Or, contrairement aux feedbacks spécifiques, ceux-ci ne permettent pas de vérifier en profondeur la compréhension des apprenants ou ne leur donnent pas d'informations suffisamment précises sur l'adéquation de leurs réponses. Cependant, concernant la gestion de la discipline, il est intéressant de relever que les gestes professionnels non verbaux des enseignants servent plus la

gestion préventive que corrective, et en ce sens, sont plus efficaces (Bissonnette et al., 2017). En outre, il convient de noter que même si la gestion corrective de la discipline est moins efficace, on peut penser qu'elle l'est un peu plus quand elle est assurée par des gestes professionnels non verbaux que verbaux. En indiquant à un élève, par un regard ou un geste, que son comportement est inadéquat, l'enseignant peut en effet corriger ce comportement sans pour autant briser la dynamique d'apprentissage dans laquelle le groupe-classe se trouve (Martineau & Gauthier, 2007).

5. CONCLUSION

Un tier des gestes professionnels des enseignants observés sont non verbaux. Ceux-ci servent principalement à clarifier le discours oral des enseignants, même si ce résultat a pu être influencé par la matière enseignée, à savoir les langues étrangères. Il serait dès lors intéressant de vérifier si ce résultat se confirme dans d'autres études portant sur des enseignants dispensant d'autres matières. En ce qui concerne les autres gestes professionnels non verbaux, ceux-ci concernent surtout la gestion de classe avec une efficacité moindre pour la gestion de participation des élèves que pour la gestion de la discipline. Concernant la gestion des apprentissages, les gestes professionnels non verbaux sont moins fréquents et ceux qui sont surtout employés (feedback stéréotypé) ont une efficacité moindre. Ces résultats mériteraient aussi d'être vérifiés dans d'autres recherches. Nous pensons que si ces résultats se confirment, il conviendrait en ce qui concernent les gestes moins efficaces, de faire la part des choses entre d'éventuelles lacunes de formation des enseignants et des limites intrinsèques au registre du non verbal (en particulier concernant les feedbacks aux élèves).

Cette étude exploratoire ne vise aucune généralisation. Elle a néanmoins le mérite de mettre en évidence une facette peu étudiée de l'activité enseignante, liée aux gestes professionnels non verbaux. Compte tenu des enjeux sous-jacents, il nous semble important de continuer à étudier ces gestes, ce qui pourrait donner lieu à une réflexion sur le rôle de la formation initiale des enseignants quant à l'emploi de gestes professionnels non verbaux.

6. BIBLIOGRAPHIE

Bissonnette, S., Gauthier, C., & Castonguay, M. (2016). *L'enseignement explicite des comportements : pour une gestion efficace des élèves en classe et dans l'école*. Montréal, Canada : Chenelière éducation.

Bissonnette, S., Richard, M., Gauthier, C., & Bouchard, C. (2010). Quelles sont les stratégies d'enseignement efficaces favorisant les apprentissages fondamentaux auprès des élèves en difficulté de niveau élémentaire ? Résultats d'une méga-analyse. *Revue de recherche appliquée sur l'apprentissage, 3*(1), 1-35. https://r-libre.teluq.ca/776/1/sbissonn-06-2010.pdf

Brudermann, C. & Pélissier, C. (2008). Les gestes professionnels de l'enseignant : une analyse pédagogique et une représentation informatisée pour la formation – l'exemple des langues étrangères. *Revue internationale des technologies en pédagogies universitaire, 5*(2), 21-33. https://doi.org/10.7202/037472ar

Bloom, B.S. (1979). *Caractéristiques individuelles et apprentissages scolaires*. Bruxelles : Editions Labor.

Bocquillon, M. (2020). *Quel dispositif pour la formation initiale des enseignants? Pour une observation outillée des gestes professionnels en référence au modèle de l'enseignement explicite* (Thèse de doctorat). Université de Mons. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02929814/.

Bocquillon, M., Derobertmasure, A., & Demeuse, M. (2017). *Guide pour analyser, accompagner et superviser des pratiques de classe. Première partie: la grille "Miroir des Gestes Professionnels"(MGP), un outil pour analyser des pratiques de classe*. Working Papers de l'INAS, WP 01/2017 (1-73). https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35458.89284

Lapointe, J-R. (2016). *Les pratiques non verbales de l'enseignant du primaire dans la gestion des comportements perturbateurs des élèves* (Thèse de doctorat). Université du Québec, Montréal. https://archipel.uqam.ca/11126/1/D3052.pdf

Martineau, S., & Gauthier, C. (2007). La gestion de classe au cœur de l'effet enseignant. *Revue des sciences de l'éducation, 25*(3), 467–496. https://doi.org/10.7202/032010ar

Rogalski, J. (2007). Approche de psychologie ergonomique de l'activité de l'enseignant. Dans : *Actes du XXVIe colloque COPIRELEM* (pp. 45-66). https://www.academia.edu/es/4497036/APPROCHE_DE_PSYCHOLOGIE_ERGONOMIQUE_DE_LACTIVITE_DE_LENSEIGNANT

P12 : *Complémentarité des approches psychosociales et incarnées dans la promotion du tri sélectif en lycées professionnels.*

Théo Genoyer

Université Paul Valéry, Route de Mende 34 199 Montpellier Cedex 5

theo.genoyer@etu.univ-montp3.fr

Sacha Coueste

Mairie de Dardilly, 1 place Bayère, 69570 Dardilly

sacha.coueste@etu.u-paris.fr

& Catherine Gabaude

Université Gustave Eiffel, Campus de Lyon, case 24, 25 avenue F. Mitterrand, 69675 Bron Cedex

catherine.gabaude@univ-eiffel.fr

RÉSUMÉ

Une intervention ergonomique a été mise en place dans les lycées professionnels d'un territoire auprès d'éco-délégués, d'enseignants et d'agents de service en observant leurs interactions avec un psychologue social. En mettant en œuvre des incitations en faveur du tri des déchets, une recherche-action et une recherche expérimentale sont menées. La recherche action consiste en une analyse de la tâche et une analyse de l'activité auprès des acteurs du lycée en vue d'observer comment l'activité collective est mise en œuvre et comment elle peut se transformer. L'étude expérimentale consiste en l'observation de l'efficacité de deux interventions dans la promotion du tri des déchets : incitation à l'aide du paradigme de l'hypocrisie induite et à l'aide de poubelles nudgées. Outre les résultats de l'étude expérimentale, les freins et les facilitateurs à la mise en œuvre de l'intervention ergonomique seront présentés ainsi qu'une analyse sur le caractère capacitant du travail collectif de mise en place de l'expérimentation.

MOTS-CLÉS

Comportement, pouvoir d'agir, conduite du changement, gestion des déchets, tri sélectif.

1. INTRODUCTION

La psychologie politique est un nouveau domaine scientifique qui permet de mieux comprendre les obstacles à l'émergence de modes de vie plus soutenables et d'identifier les leviers actionnables aux différentes échelles dans lesquels l'humain évolue. Un courant de recherche visant à mettre les sciences cognitives et sociales et l'ergonomie au service de la redirection écologique émerge. La création récente de l'Acte Lab en atteste (https://acte-lab.com/, direction : Thibaud Griessinger). Il s'agit d'une structure de recherche soutenue par la direction interministérielle de la transformation publique qui, sur la base d'actions de terrain, a mis en place un laboratoire d'interface et un laboratoire de recherche indépendant. Ce laboratoire atypique pourrait faciliter le développement de nouvelles méthodologies d'engagement collectif pour faire face aux nouveaux défis environnementaux.

La psychologie sociale a contribué à mettre en lumière des techniques de persuasion sous influence dont l'hypocrisie induite (Priolo et al., 2019) et le *nudge* ou coup de pouce (Mertens et al., 2022) qui permettent d'engager des changements de comportement. Le premier paradigme amènerait, par exemple, l'individu à se questionner sur le tri avant une possible modification de son geste, le second paradigme guide le geste vers la poubelle par une modification minime consistant à changer son apparence). La gestion et la réduction des déchets fait partie d'un des plus grands défis contemporains et de nombreux acteurs se mettent en mouvement pour agir en recherchant les incitations les plus efficaces. La recherche action est une méthode de recherche scientifique qui permet à la fois d'acquérir des connaissances et de mener des actions transformatrices sur le terrain. Cette méthodologie de recherche permet de proposer de nouveaux modes d'intervention en ergonomie en vue de co-construire, avec les acteurs clés, de programmes de conduite du changement. L'ergonome est ainsi en capacité de tenir compte de la diversité des points de vue des acteurs, d'aider à mieux comprendre leurs besoins réels et d'anticiper les conséquences des choix opérés.

Pour la psychologie ergonomique, il est intéressant d'observer, sur des actions de terrain, comment les connaissances en psychologie sociale sont accueillies voire utilisées et d'étudier la capacité des collectifs à s'organiser pour les essaimer dans les pratiques quotidiennes. Ceci permet de comprendre comment s'opère le passage de l'incitation individuelle au changement de comportement à la transformation collective d'une organisation en contribuant à lever les freins à la mise en œuvre d'actions en faveur de la transition écologique. En s'appuyant sur les approches en ergonomie constructive (Falzon, 2013), la dynamique d'action est observée au cours du développement de l'activité collective. La mise en place des techniques d'incitation psychosociale nécessite la conception d'outils de communication (affichage, note d'information, formulaires de consentement) qui contribue au processus dialogique d'apprentissage mutuel. Les facteurs humains sous-jacents aux mécanismes d'attention/perception ou du langage voir de la métacognition permettent d'entrevoir la capacité d'agir des individus et des collectifs (Barcellini, 2015).

Cette étude vise à mener conjointement une recherche-action et recherche expérimentale en conduisant une intervention ergonomique en lycée auprès d'éco-délégués, d'enseignants et d'agents de service concernés et en observant les interactions qu'ils ont avec un psychologue social. En observant les rôles joués par les acteurs et les actions menées, nous faisons l'hypothèse que l'intervention peut être capacitante et ainsi faciliter par la suite la conduite du changement. La recherche action consiste en une analyse de la tâche et une analyse de l'activité menée auprès des acteurs du lycée en abordant les dimensions instrumentale, opérationnelle, temporelle et existentielle de l'activité proposée. Les actions co-construites par les acteurs sont observées en cherchant à comprendre le caractère capacitant du travail collectif de mise en place des incitations retenues pour mener à bien la recherche expérimentale.

L'étude expérimentale consistera en l'observation de l'efficacité de différentes interventions dans la promotion du tri des déchets auprès de lycéens. L'objectif secondaire de cette étude est de comparer l'efficacité d'interventions ayant deux fondements théoriques différents (l'approche psychosociale et l'approche incarnée et située) dans la promotion du tri sélectif auprès de lycéens de la commune de Dardilly. Les différentes incitations auront donc pour objectif d'augmenter la part des lycéens qui adoptent les gestes de tri.

2. METHODE

La méthodologie de cette recherche-action (Figure 23) consiste à mener des plans d'actions en collaboration avec les conseillers d'éducation et les éco-délégués en vue de conduire une expérimentation de terrain. Trois plans successifs sont menés : T1 – analyse des besoins des parties prenantes, T2 – Mise en œuvre de l'intervention ergonomique, élaboration d'un plan d'action et

adaptation du protocole, T3 – analyse des données collectées et définition des perspectives données à ce travail.

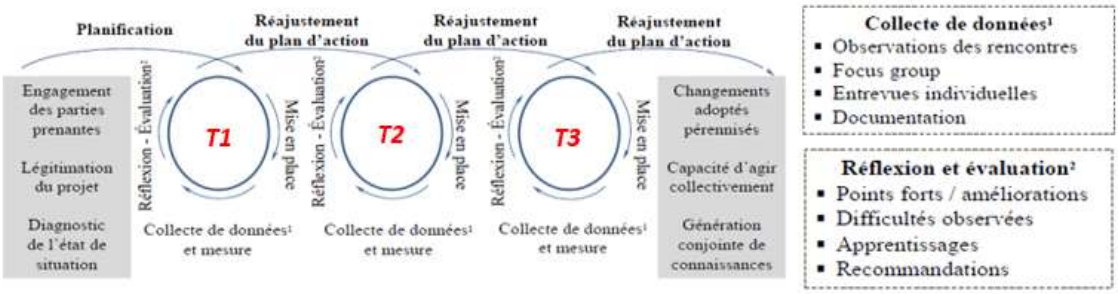


Figure 24 : Méthodologie d'une recherche-action (Roy et Prévost, 2013).

Deux types d'incitation ont été proposés aux lycées en fonction des emplacements des poubelles de tri : 1 - Hypocrisie Induite (Gamma et al., 2020) : activation d'un état d'inconfort psychologique chez certains lycéens en vue de réduire l'inconsistance entre leur pensée et leur geste. 2 - Incarnation située (DiGiacomo, 2020) : modification de l'apparence des poubelles et dispositifs de tri sélectif de l'établissement afin de les rendre plus visuellement compatibles avec le geste de tri.

L'efficacité des incitations sur les performances de tri est évaluée en calculant un différentiel entre la quantité (en kilogrammes) de déchets présents dans les poubelles de déchets recyclables et non-recyclables, la semaine avant l'intervention et les trois semaines suivantes.

3. RESULTATS

T1 : Cette étude, mise en place dans le cadre d'un doctorat Cifre financé par la ville de Dardilly, a nécessité d'obtenir l'aval de l'élue en charge de l'éducation au développement durable. Les objectifs de ce travail ont été discutés afin d'en questionner la portée et la pérennité et l'articulation avec les actions menées au sein des écoles primaires du territoire. L'analyse des besoins des parties prenantes a commencé par la rédaction et la soumission d'un protocole au comité d'éthique de l'université Eiffel qui a rendu un avis favorable à la date du 5 mai 2023. En raison de la présence de lycéens mineurs, un soin particulier a été apporté à la collecte du consentement auprès de l'autorité parentale et auprès des élèves mineurs et majeurs. Par ailleurs, le paradigme d'hypocrisie induite nécessitant de ne pas révéler l'objectif de la recherche dans la note d'information, il a été nécessaire d'écrire une seconde note d'information complète à remettre en fin d'expérimentation qui soit compréhensible par les lycéens. Une acculturation des acteurs de terrains aux contraintes de la recherche a été nécessaire pour lever les craintes à la mise en place de la recherche expérimentale. Ces procédures longues ont engendré des délais et le processus de validation de la participation des lycées et de la collecte des consentements ne sont toujours pas terminés.

T2 : l'intervention ergonomique va être mise en place entre le 15 mai et le 15 juin. Elle permettra de décrire les analyses des tâches et des activités menées par les acteurs de terrain afin de faciliter la mise en œuvre d'action de conduite du changement qui permettront ensuite de tester et d'essaimer plus facilement des incitations en faveur de l'adoption de comportements pro-environnementaux.

T3 : l'analyse des données collectées durant la recherche expérimentale sera réalisée dans le seconde quinzaine de juin pour une présentation des résultats en juillet. Ils permettront de discuter l'efficacité des incitations mises en œuvre.

4. BIBLIOGRAPHIE

Barcellini, F (2015). Développer des interventions capacitantes en conduite du changement. Comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en psychologie. Université de Bordeaux, France. https://theses.hal.science/tel-01150586

DiGiacomo, A. (2020). Situated cognition : a lens for exploring behaviour change across contexts (T). University of British Columbia. Retrieved from https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0394328

Falzon, P. (2013). Ergonomie Constructive. Paris, France : PUF.

Gamma, K., Mai, R., & Loock, M. (2020). The Double-Edged Sword of Ethical Nudges : Does Inducing Hypocrisy Help or Hinder the Adoption of Pro-environmental Behaviors? Journal of Business Ethics, 161(2), 351-373. https://doi.org/10.1007/s10551-018-3930-2

Mertens S, Herberz M, Hahnel UJJ, Brosch T (2022). The effectiveness of nudging: A meta-analysis of choice architecture interventions across behavioral domains. Proc Natl Acad Sci U S A, 119(1):e2107346118. doi: 10.1073/pnas.2107346118. Erratum in: Proc Natl Acad Sci U S A., 119(19):e2204059119. PMID: 34983836; PMCID: PMC8740589.

Priolo D, Pelt A, Bauzel RS, Rubens L, Voisin D, Fointiat V. (2019). Three Decades of Research on Induced Hypocrisy: A Meta-Analysis. Pers Soc Psychol Bull, 45(12):1681-1701. doi: 10.1177/0146167219841621. Epub 2019 Apr 13. PMID: 30982409.