

---

# Doctoriales

## ARPEGE

*Association pour la Recherche  
en Psychologie Ergonomique et Ergonomie*

Le 7 juillet 2026

Dans le cadre du 13e colloque EPIQUE en psychologie  
ergonomique et ergonomie à Lorient

Avec le concours du Réseau de Jeunes Chercheurs en  
Ergonomie



et le soutien du Collège des Enseignants Chercheurs en Ergonomie



---

## Comité d'Organisation des Doctoriales Comité de Lecture

Irène Gaillard (Université de Toulouse)  
Béatrice Cahour (CNRS i3 Télécom ParisTech)  
Christine Chauvin (Université de Bretagne Sud)  
Corinne Grusenmeyer (Institut National de Recherche et de Sécurité, Nancy)  
Liliane Pellegrin (Centre d'Épidémiologie et de Santé Publique des Armées)

### Avec le Réseau des Jeunes Chercheurs en Ergonomie (RJCE)

Clara Auvrouin-Zaragoza (Univ. de Lille)  
Alma Lelièvre (EDF Lab Paris-Saclay / CRTD)

---

## Discutants

Sonia Adelé (Université Gustave Eiffel)  
Eric Brangier (Université de Lorraine)  
Jean-Marie Burkhardt (Université Gustave Eiffel)  
Catherine Gabaude (Université Gustave Eiffel)  
Béatrice Cahour (CNRS i3 Télécom ParisTech)  
Christine Chauvin (Université de Bretagne Sud)  
Corinne Grusenmeyer (Institut National de Recherche et de Sécurité, Nancy)  
Clément Guérin (Université de Bretagne Sud)  
Gaël Morel (Université de Bretagne Sud)  
Liliane Pellegrin (Centre d'Épidémiologie et de Santé Publique des Armées)

---

# Programme des Doctoriales 2025

9h00-9h30	<b>Mot d'Accueil des organisatrices et prise de parole du RJCE</b>
9h30-10h10 page 5	<b>Clara AUVROUIN-ZARAGOZA</b> (Univ. de Lille) Penser une technologie comme une ressource pour le développement de l'activité : co-concevoir la transformation du sens de l'activité en néonatalogie Discutant(e)s : C. Guérin - C. Grusenmeyer
10h10-10h50 page 13	<b>Ophélie RICHAL</b> (Le Cnam) Explorer collectivement des situations de travail potentielles pour un futur robot manipulateur mobile interactif : Comment l'ergonomie peut alimenter un processus de conception en recherche robotique dans ses phases amont ? Discutant(e)s : B. Cahour - L. Pellegrin
10h50-11h20	<b>Pause</b>
11h20-12h00 page 22	<b>Léa GYRI</b> (Univ. Aix-Marseille) Comportements à risque en milieu nucléaire : approche systémique des tirs radiographiques Discutant(e)s : J.M. Burkhardt - I. Gaillard
12h-12h40 Page 30	<b>Gabriel RETZMANICK</b> (Univ. de Lorraine) Évaluer l'impact d'une assistance par exosquelette sur les contraintes physiques et cognitives lors d'une tâche de secours à la personne chez les sapeurs-pompiers. Discutant(e)s : C. Grusenmeyer - G. Morel
12h40-14h15	<b>Pause repas</b>
14h15-14h55 page 37	<b>Oriane MOUTON</b> (Univ. de Toulouse) Comprendre les représentations des véhicules autonomes pour anticiper les adaptations comportementales et concevoir des actions de sécurité routière en trafic mixte Discutant(e)s : B. Cahour - C. Gabaude
14h55-15h35 page 44	<b>Valentin STRAHM</b> (Univ. de Toulouse) Comprendre et anticiper les véhicules autonomes : effets de la communication implicite et explicite sur le comportement piéton Discutant(e)s : S. Adélé - C. Chauvin
15h35-16h00	<b>Pause</b>
16h30-16h40 page 52	<b>Raphaël THOUÉZ</b> (Univ. Genève) La formation au geste technique : vers un dispositif numérique basé sur l'IA pour la transmission et l'appropriation de savoir-faire industriels Discutant(e)s : E. Brangier - I. Gaillard
17h	<b>Assemblée Générale d'ARPEGE</b>

---

**N.B : Les textes des communications sont présentés selon l'ordre du programme,  
aux pages indiquées sur ce dernier**



Les auteurs conservent les droits de leurs publications.

---

Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas  
d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International

**ISBN : 979-10-92329-08-7**

---

# Penser une technologie comme une ressource pour le développement de l'activité : co-concevoir la transformation du sens de l'activité en néonatalogie

**Clara Auvrouin-Zaragoza**

Université de Lille

CHU de Lille, CIC-IT de Lille, ULR 2694 METRICS  
Boulevard du Professeur Jules Leclercq, 59000 Lille  
[clara.zaragoza.etu@univ-lille.fr](mailto:clara.zaragoza.etu@univ-lille.fr)

2<sup>ème</sup> année de thèse (début janvier 2025)

**Sylvia Pelayo**

Université de Lille

CHU de Lille, CIC-IT de Lille, ULR 2694 METRICS  
Boulevard du Professeur Jules Leclercq, 59000 Lille  
[sylvia.pelayo@univ-lille.fr](mailto:sylvia.pelayo@univ-lille.fr)

**Julien Nelson**

Université Paris Cité

Centre Giovanni Borelli (UMR 9010), UFR des sciences fondamentales et biomécaniques  
[julien.nelson@u-paris.fr](mailto:julien.nelson@u-paris.fr)

---

## RÉSUMÉ

Cette recherche s'inscrit dans une perspective selon laquelle la réussite d'une innovation dépend de son adéquation fonctionnelle, mais aussi de sa capacité à s'inscrire dans une trajectoire de sens acceptable et désirable pour les acteurs, notamment dans le cadre de transformations profondes de l'activité. Le projet d'innovation concerne les services de néonatalogie et vise le développement d'un outil permettant d'objectiver les stades de sommeil des nouveau-nés. En mobilisant des dispositifs projectifs, les méthodes créatives peuvent soutenir la capacité des acteurs à se projeter dans des situations encore inexistantes et à explorer des formes d'activité non stabilisées. Elles apparaissent ainsi comme des instruments de médiations du futur travail, permettant d'anticiper non seulement des usages, mais aussi des reconfigurations plus profondes de l'activité et de son sens. La thèse s'organise en 3 études : une analyse de l'activité menée dans deux hôpitaux, des ateliers de créativité, et des simulations qui seront réalisées avec les futurs utilisateurs.

## MOTS-CLÉS

Sens de l'activité, innovation, créativité, transformations, néonatalogie

---

## 1. INTRODUCTION

La prise en charge des nouveau-nés en néonatalogie repose sur un collectif de professionnels de santé aux compétences complémentaires, confrontés à des pathologies lourdes et à un double enjeu : favoriser l'autonomisation progressive du bébé en vue de sa sortie de l'hôpital et accompagner la montée en compétences des parents dans le processus de soin. Service de soins singulier, la néonatalogie est à la fois un lieu de résidence pour les bébés, un espace d'accueil pour les parents et un environnement de travail pour les soignants, où parents et professionnels cohabitent, interagissent et participent conjointement à la prise en charge, médiée par de nombreux artefacts.

Dans ce contexte, le sommeil occupe une place centrale, puisqu'il constitue l'état comportemental principal des bébés prématurés et un levier majeur de leur développement neurologique. Les professionnels de néonatalogie cherchent à préserver au maximum les phases de sommeil durant lesquelles le bébé « dort », afin de soutenir les processus de maturation et de développement neurologique encore immatures à la naissance. Or, les phases et stades de sommeil des nouveau-nés prématurés restent aujourd'hui difficilement identifiables. Actuellement, les stades de sommeil sont principalement estimés par observation comportementale, une pratique qui requiert la connaissance d'observables spécifiques permettant de distinguer les différents états de sommeil, connaissances accessibles par la formation et inégalement partagées au sein du personnel soignant. Le projet ANR SLEEPINESS (ANR-23-CE19-0020) propose de développer un modèle des stades de sommeil du nouveau-né prématuré et un outil automatisé de surveillance multimodale (ECG, respiration, vidéo, audio), permettant une évaluation continue, fine et robuste des états sommeil/éveil, ceci à la demande des professionnels de terrain (médecins et puéricultrices).

L'introduction d'un tel dispositif dans les pratiques de soins implique une transformation de l'activité, marquée par le passage d'une estimation clinique, située et experte à une objectivation instrumentée des états de sommeil, susceptible de transformer profondément les pratiques individuelles et collectives. Cette évolution interroge non seulement l'organisation du travail des professionnels, mais aussi la place des parents, pleinement intégrés à l'environnement de soin. Dans cette perspective, le projet de thèse s'attache à identifier et mobiliser des méthodes adaptées afin d'accompagner la co-conception du dispositif et potentiellement l'émergence de nouveaux usages, dans l'objectif de soutenir et d'optimiser l'activité.

## **2. CADRE CONCEPTUEL**

### **2.1 La technologie comme ressource pour le développement de l'activité**

En ergonomie, la technologie est historiquement appréhendée comme un artefact destiné à soutenir, fiabiliser ou optimiser une activité existante, dans une perspective d'adaptation du travail à l'homme et d'amélioration conjointe des performances et de la santé (Falzon, 2004 ; Daniellou, 2004). Cette approche, largement fondée sur des critères d'utilité, d'efficacité ou d'acceptabilité, montre toutefois ses limites dans des contextes de forte innovation technologique, où les dispositifs introduits ne se contentent plus de transformer marginalement les conditions de l'activité, mais participent à une redéfinition plus profonde de ses modalités, de ses finalités et de son sens (Brangier & Bastien, 2006 ; Norman & Verganti, 2014). Dans ce cadre, l'ergonomie et la psychologie du travail invitent à dépasser une conception strictement instrumentale de la technologie pour la considérer comme une ressource potentielle pour le développement de l'activité. Les travaux fondateurs de Rabardel (1995) mettent en évidence le caractère fondamentalement médié de l'activité, la technologie contribuant à transformer conjointement les manières d'agir, de penser et d'interpréter les situations de travail. Par ailleurs, les approches développementales de l'activité soulignent que le développement ne se réduit pas à l'acquisition de compétences, mais renvoie à l'élargissement du pouvoir d'agir et à la possibilité de débattre du travail (Clot, 1999 ; Clot, 2008).

Dans cette perspective, la technologie constitue une ressource de développement lorsqu'elle favorise de nouvelles formes d'action, de coordination et de compréhension des situations, plutôt qu'une simple automatisation des pratiques existantes (Falzon, 2013). À l'inverse, une conception uniquement guidée par la performance risque de rigidifier l'activité et de réduire les marges de manœuvre nécessaires à la gestion du travail réel (Daniellou, 2004). Cela suppose une analyse des besoins des futurs utilisateurs et des situations réelles de travail dès la conception afin d'identifier attentes, contraintes et régulations effectives de l'activité (Béguin, 2007). L'étude de l'organisation du travail, dans ses dimensions prescrites et informelles, est également essentielle, les technologies pouvant provoquer un glissement

de tâches, transformer les coordinations, les responsabilités et les régulations collectives (de Terssac, 2011).

La question du sens de l'activité apparaît alors centrale. Le développement de l'activité ne peut être dissocié des valeurs, des finalités et des significations que les acteurs attribuent à leur travail (Clot, 2008). Les technologies innovantes sont susceptibles de transformer en profondeur ce sens, en redéfinissant ce qui fait autorité, ce qui est jugé pertinent et ce qui fonde l'expertise dans l'activité (Verganti, 2009 ; Nelson, 2020 ; Bobillier Chaumon, 2016). Concevoir une technologie comme ressource pour le développement de l'activité implique alors de penser conjointement ses fonctions, ses usages possibles et les transformations de sens qu'elle induit (Robert & Brangier, 2012 ; Brangier & Robert, 2021 ; Bobillier-Chaumon, 2016 ; Bobillier-Chaumon & Dubois, 2017).

## **2.2 La question de la transformation du sens de l'activité au centre de l'intervention**

En ergonomie, le sens de l'activité renvoie à la manière dont les travailleurs comprennent, valorisent et s'approprient leur travail à travers l'activité réelle, ses finalités et ses effets. Il se construit notamment dans la possibilité d'agir sur son travail, de développer des marges de manœuvre et de maintenir une cohérence entre les exigences de l'organisation, les valeurs professionnelles et les critères du « travail bien fait » (Clot, 2008). Les technologies peuvent soutenir le sens de l'activité lorsqu'elles renforcent le pouvoir d'agir des travailleurs, soutiennent les coopérations et permettent une meilleure compréhension des situations de travail plutôt qu'un simple contrôle ou une automatisation des tâches (Bobillier-Chaumon, 2016). Elles favorisent alors le développement du sens en aidant les acteurs à atteindre les finalités de leur travail, à préserver leurs critères du « travail bien fait » et à adapter leur activité aux réalités du terrain (Volkoff, 2012).

Accompagner la transformation du sens de l'activité constitue un défi méthodologique majeur pour l'ergonomie. Cette transformation, souvent progressive et inscrite dans le temps long, ne peut être entièrement prescrite ni prédite. Elle peut néanmoins être anticipée et mise en discussion dès les phases amont de la conception, à condition de mobiliser des dispositifs permettant aux acteurs de se projeter dans des situations futures, de débattre des finalités du travail et de confronter différentes visions de l'activité à venir. C'est dans cette perspective que s'inscrit le recours à des approches créatives et participatives, visant à faire de la conception technologique un espace de construction collective du sens du travail futur. En complément des méthodes classiques d'analyse de l'activité et de simulation, elles permettent de dépasser une projection strictement fonctionnelle de l'activité à venir pour ouvrir un espace de mise en discussion des possibles, des finalités et du sens du travail futur, en s'appuyant notamment sur les processus cognitifs de la créativité décrits par Bonnardel (2009, 2012), tels que l'analogie, la reformulation de problèmes et la combinaison de connaissances hétérogènes. En mobilisant des dispositifs projectifs, ces méthodes soutiennent la capacité des acteurs à se projeter dans des situations encore inexistantes et à explorer des formes d'activité non stabilisées (Barcellini et al., 2013 ; Robert & Brangier, 2012). Elles apparaissent ainsi comme des instruments de médiation du futur du travail, permettant d'anticiper non seulement des usages, mais aussi des reconfigurations plus profondes de l'activité et de son sens (Norman & Verganti, 2014).

### **3. OBJECTIFS ET STRATÉGIE DE LA THÈSE**

La thèse interroge la manière dont les méthodes créatives, mobilisées dans une démarche d'ergonomie prospective, peuvent constituer des instruments d'anticipation des usages futurs et d'accompagnement des transformations du sens de l'activité induites par les technologies. Opérationnaliser le sens de l'activité consiste à analyser, à travers les discours, les pratiques et les interactions des acteurs, les finalités attribuées au travail, les critères du « travail bien fait », les marges de manœuvre, les dynamiques collectives et les représentations du futur afin d'identifier les transformations du rapport au travail et à l'activité. Dans cette perspective, les méthodes créatives peuvent soutenir ces transformations en permettant aux acteurs d'explorer, de discuter et de reconfigurer leurs représentations du travail, des usages et des rôles professionnels futurs. Elles peuvent participer à cette transformation en déplaçant les représentations habituelles et en rendant visibles les évolutions possibles des finalités du travail, de l'expertise, du pouvoir d'agir et des dynamiques collectives. Pour répondre à cette problématique, la thèse s'organise autour de trois études complémentaires :

- 1) Une analyse de l'activité menée dans plusieurs unités de néonatalogie, réparties sur deux hôpitaux. Elle vise à accéder au sens actuel de l'activité et à documenter le travail réel des professionnels et la place des parents. Elle met en évidence les régulations individuelles et collectives, les compromis et stratégies déployés par les professionnels pour préserver les phases de sommeil, les critères « du travail bien fait » (réalisée au CHU de Lille, en cours de finalisation au CHU de Rennes). Cette première étape constitue ainsi un point d'ancrage essentiel pour comprendre les besoins, les contraintes et les valeurs mobilisées dans l'activité.
- 2) La deuxième étude s'appuie sur la mise en œuvre d'ateliers créatifs réunissant, dans un premier temps, les professionnels de santé et les parents séparément, puis de façon croisée. Ces ateliers, fondés sur des méthodes créatives et des supports de projection, visent à explorer des usages futurs possibles et à favoriser l'expression des représentations, attentes, craintes et besoins des différents acteurs. En permettant de discuter, confronter et reconfigurer les représentations du travail et des futurs usages, ces dispositifs créatifs participent à la transformation du sens de l'activité (en cours).
- 3) Enfin, la troisième étude mobilisera des situations de simulation afin d'interroger les effets potentiels du dispositif conçu sur l'activité future. Cette phase permettra d'observer concrètement les possibles ouverts ou contraints par la technologie, ainsi que sa capacité à soutenir le développement de l'activité. Les simulations offriront la possibilité d'analyser les transformations du sens de l'activité à travers les usages projetés, les nouvelles coordinations, les arbitrages réalisés, les évolutions des critères du « travail bien fait » et les reconfigurations du pouvoir d'agir individuel et collectif. Elles permettront également de comparer les représentations initiales du travail avec celles émergentes après les ateliers créatifs et les mises en situation, afin d'identifier comment le rapport au travail, à la technologie et aux rôles se transforme au cours du processus de conception prospective (à venir).

### **4. ORGANISATION DES TRAVAUX DE THÈSE**

#### **4.1 Etude 1 : Analyse de l'activité**

##### *4.1.1 Méthode*

Une analyse de l'activité a pu être réalisée dans deux maternités de niveau 3. Nous avons pu réaliser des entretiens exploratoires d'une durée d'environ 40 minutes avec des médecins et des puéricultrices des services de néonatalogie : réanimation néonatale, soins intensifs et soins courants au CHU de Lille et de Rennes . Le tableau 1 représente les différents entretiens

réalisés divisés en trois grandes parties abordant : l'organisation du service, la prise en charge des bébés et les outils utilisés.

	CHU de Lille		CHU de Rennes	
	Puéricultrices	Médecins	Puéricultrices	Médecins
<b>Entretiens</b>	6	4	4	3

*Tableau 1 Entretiens réalisés dans le cadre de l'analyse de l'activité*

Le tableau 2 représente les observations effectuées au CHU de Lille par service. Les observations avec les puéricultrices ont été réalisées sur la durée de leur poste (8 heures) et les observations avec les médecins sur leur journée de travail (8h30-17h30).

MOMENT	RÉA P	RÉA M	SI P	SI M	SC P	SC M
<b>MATIN</b>	2		1		1	
<b>APRÈS-MIDI</b>	1					
<b>JOURNÉE</b>		2		3		
<b>TOTAL</b>	3	2	1	3	1	0

*Tableau 2 Répartition des observations réalisées au CHU de Lille*

P = Puéricultrices, M = Médecins, REA = réanimation, SI = soins intensifs, SC = soins courants

#### 4.1.2 Résultats

Les observations menées dans plusieurs unités de néonatalogie mettent en évidence une certaine coordination des soins autour de l'état de sommeil des nouveau-nés. Les données recueillies montrent notamment que les puéricultrices essaient de réorganiser fréquemment leurs interventions en fonction des phases de sommeil observées : certains soins sont différés ou regroupés afin de limiter les réveils du bébé. Les observations révèlent de nombreuses interactions entre puéricultrices, médecins et parents autour de l'évaluation de l'état du nouveau-né, ainsi que des discussions portant sur le « bon moment » pour intervenir. Les entretiens réalisés avec les professionnels confirment l'importance accordée à la préservation du sommeil, celui-ci étant régulièrement décrit comme un facteur clé du travail. Plusieurs professionnels soulignent par ailleurs que l'évaluation des états de sommeil repose sur des compétences acquises par l'expérience, mobilisant l'observation de signaux comportementaux et physiologiques parfois difficiles à formaliser.

Les données recueillies mettent également en évidence la place importante des parents dans les situations de soin. Les observations montrent leur présence régulière auprès du nouveau-né ainsi que de nombreuses situations d'échange avec les puéricultrices autour de l'interprétation des comportements du bébé. Les entretiens indiquent qu'ils apprennent progressivement à reconnaître certains états de leur enfant et à ajuster leurs pratiques en conséquence. Cette montée en compétences apparaît soutenue par différents supports utilisés dans le service, notamment des fiches explicatives sur les stades de sommeil (associant les comportements correspondants et les actions souhaitables ou non). Les observations montrent que ces outils sont mobilisés à la fois pour transmettre des connaissances ou justifier certaines décisions de soins.

La prise en charge du sommeil apparaît ainsi comme une activité fortement outillée, relationnelle et coopérative, reposant sur des ajustements permanents et sur le partage de repères communs. Ces premiers résultats mettent en lumière des dynamiques d'activité et de médiation qui constituent des points d'appui essentiels pour interroger les effets potentiels d'une future technologie d'objectivation des stades de sommeil, tant sur les pratiques

professionnelles que sur l'implication des parents et la construction collective du sens du soin en néonatalogie.

#### **4.2 Etude 2 : Ateliers de cocréation**

Des ateliers de co-création seront réalisés avec les médecins, les puéricultrices et les parents, puis des ateliers croisés seront mis en place.

Plusieurs méthodes créatives existent, mais nous avons retenu la méthode *New Metaphors*, développée par l'*Imaginaires Lab* (Lockton et al., 2019, 2026), car elle permet d'explorer collectivement des situations complexes et difficiles à formaliser à travers l'usage de métaphores. Ce choix s'inscrit dans les objectifs de la thèse, qui vise à anticiper les usages futurs d'une technologie d'objectivation des stades de sommeil des nouveau-nés tout en interrogeant ses effets potentiels sur le sens de l'activité des professionnels et des parents en néonatalogie. Cette méthode apparaît particulièrement pertinente pour accéder aux dimensions implicites de l'activité, aux besoins des futurs utilisateurs, aux critères du « travail bien fait » ainsi qu'aux représentations associées au soin. La méthode repose sur l'utilisation de cartes visuelles (photographies associées à des intitulés tels qu'érosion, *conversation*, etc.) permettant aux participants de construire des métaphores à partir de situations issues de leur activité. Les ateliers seront organisés en trois étapes complémentaires.

Une première étape de mise en contexte visera à projeter une représentation schématique globale de la prise en charge du nouveau-né en néonatalogie, construite à partir des résultats de l'analyse de l'activité. Chaque participant sera invité à identifier un moment ou une tâche qu'il considère comme particulièrement important.e dans la prise en charge, en explicitant les raisons de ce choix, puis un moment ou une tâche perçu.e comme particulièrement difficile. Cette étape permettra de faire émerger les situations jugées centrales dans l'activité, les enjeux associés au sommeil du nouveau-né ainsi que les critères mobilisés pour définir ce qui fait sens ou qui est difficile dans le travail. Les participants devront ensuite discuter collectivement de ces éléments afin de cibler les situations qui seront explorées lors de l'étape suivante.

Une deuxième étape reposera sur l'utilisation des cartes *New Metaphors*. Pour chacune des situations sélectionnées à l'étape précédente, les participants devront choisir, parmi un ensemble de cartes visuelles, celle qui leur semble représenter le mieux la situation évoquée. Ils seront ensuite invités à expliciter leur choix en décrivant ce que l'image et le terme associé leur évoquent, ce qu'ils font ressentir et en quoi ils permettent de représenter la situation de travail discutée. Cette étape vise à faire émerger les dimensions implicites de l'activité, les représentations associées aux pratiques actuelles, aux relations de soin, aux coordinations entre acteurs ainsi qu'aux enjeux liés au sommeil du nouveau-né.

Une troisième étape de construction de scénarios permettra aux participants d'imaginer les usages futurs d'un outil d'objectivation des stades de sommeil et d'anticiper ses effets potentiels sur les pratiques professionnelles, les relations avec les parents, les coordinations et les modalités de décision selon ce qui fait sens pour eux et pour améliorer la situation de travail existante. Les données recueillies comprendront les productions des participants (cartes, métaphores, scénarios) et les verbalisations produites. Une analyse qualitative thématique permettra d'identifier les besoins exprimés, les représentations du travail, les critères de qualité du soin et les transformations anticipées du sens de l'activité. Ces résultats contribueront à alimenter la conception du dispositif en identifiant les dimensions de l'activité que la technologie pourrait soutenir, transformer ou contraindre.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- Barcellini, F., Belleghem, L. V., & Daniellou, F. (2013). Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. In *Ergonomie constructive* (p. 191-206). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2013.01.0191>
- Béguin, P. (2007). Prendre en compte l'activité de travail pour concevoir. *Activites*, 04(2). <https://doi.org/10.4000/activites.1719>
- 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.-É., & Dubois, M. (2017). Technologies émergentes et transformation de l'activité : enjeux pour l'ergonomie. *Le Travail Humain*, 80(1), 1–24. <https://doi.org/10.3917/th.801.0001>
- Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité : De l'analyse des processus cognitifs à l'assistance à la conception. *Le Travail Humain*, 72(1), 5–28. <https://doi.org/10.3917/th.721.0005>
- Bonnardel, N. (2012). *Créativité et conception : Approches cognitives et ergonomiques*. Presses Universitaires de France.
- Brangier, E., & Bastien, J. M. C. (2006). *L'innovation centrée utilisateur : ergonomie et conception des systèmes interactifs*. Presses Universitaires de France.
- Brangier, É. et Robert, J.-M. (2021). Intervention ergonomique. Sous la direction d'É. Brangier et G. Valléry *Ergonomie : 150 notions clés* (p. 310-316). Dunod. <https://doi-org.ressources-electroniques.univ-lille.fr/10.3917/dunod.brang.2021.01.0310>
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Presses Universitaires de France.
- Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. Presses Universitaires de France.
- Daniellou, F. (2004). *L'ergonomie en quête de ses principes : débats épistémologiques*. Octarès.
- De Terssac, G. (2011). 4. Théorie du travail d'organisation. Dans B. Maggi *Interpréter l'agir. Un défi théorique* (p. 97-121). Presses Universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.maggi.2011.01.0097>
- Falzon, P. (2004). *Ergonomie*. Presses Universitaires de France.
- Falzon, P. (2013). *Constructive ergonomics*. CRC Press.
- Lockton, D. (2026). *New Metaphors: A Creative Toolkit for Generating Ideas and Reframing Problems*. <https://danlockton.com/new-metaphors-a-creative-toolkit-for-generating-ideas-and-reframing-problems/>
- Lockton, D., Singh, D., Sabnis, S., Chou, M., Foley, S., & Pantoja, A. (2019). New Metaphors: A Workshop Method for Generating Ideas and Reframing Problems in Design and Beyond. *Proceedings of the 2019 on Creativity and Cognition*, 319–332. <https://doi.org/10.1145/3325480.3326570>
- Nelson, J. (2020). Le design de l'expérience utilisateurs comme source d'innovation: Méthodes et outils pour la conception créative d'IHM. In M. Wolff & R. Mollard (Eds), *Pratiques de l'ergonomie: De la méthode aux applications* (pp. 188–199). Octarès
- Norman, D. A., & Verganti, R. (2014). Incremental and radical innovation: Design research vs. technology and meaning change. *Design Issues*, 30(1), 78–96. [https://doi.org/10.1162/DESI\\_a\\_00250](https://doi.org/10.1162/DESI_a_00250)
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.

- Robert, J.-M., & Brangier, É. (2012). Prospective ergonomics : Origin, goal, and prospects. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, 41(S1), 5235-5242. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0012-5235>
- Verganti, R. (2009). *Design-driven innovation*. Harvard Business Press.
- Volkoff, S. (2012). Yves Clot, Le travail à cœur : pour en finir avec les risques psychosociaux Paris, La Découverte, coll. « Cahiers libres », 2010. *Travail et emploi*, 130(2), 93-94. <https://doi.org/10.4000/travailemploi.5678>.

---

# Explorer collectivement des situations de travail potentielles pour un futur robot manipulateur mobile interactif :

Comment l'ergonomie peut alimenter un processus de conception en recherche robotique dans ses phases amont ?

**Ophélie Richal**

Le Cnam, CRTD - équipe ergonomie

[ophelie.richal@lecnam.net](mailto:ophelie.richal@lecnam.net)

1ère année de thèse en ergonomie

**Willy Buchmann, Flore Barcellini**

Le Cnam, CRTD – équipe ergonomie

[willy.buchmann@lecnam.net](mailto:willy.buchmann@lecnam.net) ; [flore.barcellini@lecnam.net](mailto:flore.barcellini@lecnam.net)

---

## RÉSUMÉ

---

La recherche doctorale présentée dans cette communication interroge la contribution de l'ergonomie à un projet de conception en recherche robotique dans sa phase amont. Elle s'inscrit dans le PEPR<sup>1</sup> O2R - Robotique Organique, visant le développement d'un manipulateur mobile interactif (IMM). Ce positionnement de l'ergonomie est original de par : (1) la nature du projet, un projet de recherche interdisciplinaire associant chercheurs en robotique et chercheurs en sciences humaines et sociales et visant la conception d'un démonstrateur ; (2) l'incertitude des situations d'usage et des activités futures, qui limite la mobilisation des démarches classiques d'analyse du travail et invite à explorer des approches prospectives ; (3) la mobilisation de l'expérience d'ergonomes pour soutenir la projection de situations de travail futures. Nous présentons les premiers éléments de cadrage théorique, les choix méthodologiques (entretiens avec des roboticiens, dispositifs prospectifs, atelier d'ergonomes mobilisant le dessin comme objet intermédiaire) ainsi que des résultats exploratoires. Ceux-ci montrent que les discussions de conception restent principalement techniques et rendent compte des modalités de mobilisation de l'expérience des ergonomes dans l'objectif d'alimenter les représentations mobilisées dans le processus de conception.

---

## MOTS-CLÉS

Projet interdisciplinaire, robotique, expérience, projection, dessin, ergonomie, activité, représentation

---

## INTRODUCTION

Cette thèse - débutée en novembre 2025 - s'inscrit dans le cadre du Programme et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR) O2R - Robotique Organique, et plus particulièrement du sous-projet IMM (*Interactive Mobile Manipulation*). Celui-ci vise la conception d'un robot manipulateur mobile interactif polyvalent atteignant un niveau de

---

<sup>1</sup> Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche

maturité technologique (Technology Readiness Level - TRL) 5 à 6, correspondant respectivement à une technologie validée, puis démontrée dans un environnement « pertinent », proche des conditions réelles d'usage. Le démonstrateur, composé de deux bras montés sur une base mobile, est destiné à évoluer en intérieur / extérieur pour des applications industrielles et agricoles (Figure 1). Au-delà des enjeux techniques, le projet interroge aussi son intégration dans la société, notamment dans les situations de travail.



*Figure 1 : Représentation du démonstrateur IMM telle que dessinée par le coordinateur du projet de recherche, chercheur en robotique (A. Cherubini), présentée avec son accord*

Le projet de recherche IMM est situé en « phase amont » d'un processus de conception et il ne vise pas le déploiement du robot en situation réelle, mais l'exploration de principes et de configurations possibles pour des robots manipulateurs mobiles interactifs (IMM) appelés à intervenir dans des environnements de travail. Dans ce projet, les usages potentiels ne sont pas stabilisés, les situations de travail futures restent peu identifiées, mais les choix techniques sont déjà en partie construits. Ce contexte constitue un cadre particulier pour l'ergonomie : l'absence de situations de travail de référence clairement définies et stabilisées limite la mobilisation des démarches « classiques » d'ergonomie en conception. Ces situations demeurent « incertaines » et renvoient à des représentations parcellaires et différentes selon les disciplines impliquées dans le projet (robotique, perception, commande ; sciences de la communication et de l'information / design ; anthropologie ; sociologie ; ergonomie), laissant une place à construire pour le travail et l'activité humaine. Dans ce cadre, la thèse interroge les contributions possibles de l'ergonomie à alimenter un projet de conception d'un IMM par des connaissances sur des situations de travail potentiellement équipées de ce robot. Elle s'articule autour de trois objectifs complémentaires : (1) comprendre la nature du projet de conception robotique et les marges d'intervention en ergonomie (2) développer une réflexion autour des démarches prospectives en ergonomie de conception ; (3) mobiliser l'expérience d'ergonomes pour produire des ressources susceptibles d'alimenter le processus de conception.

Cette communication présente les premiers éléments de la réflexion doctorale sur ce sujet. Elle propose un état de l'art sur la robotique mobile autonome et les démarches prospectives et de conception en ergonomie. Elle expose ensuite les objectifs de la thèse, les choix méthodologiques engagés, ainsi que les premiers résultats en construction et les perspectives pour les étendre.

## ÉTAT DE L'ART ET CADRE THÉORIQUE

### Potentialités, promesses et limites de la robotique au travail

Dans cette partie, nous mobilisons les travaux sur la robotique collaborative, les robots mobiles autonomes (AMR) et les Manipulateurs Mobiles (MM) afin de situer le projet étudié : un manipulateur mobile interactif (IMM), au croisement des enjeux de coprésence humain-robot, de mobilité autonome et de manipulation.

La robotique collaborative a renouvelé les questions d'intégration des systèmes robotisés dans des environnements de travail. Si ces systèmes sont conçus pour interagir physiquement avec des êtres humains dans un espace partagé, la convocation de la notion de collaboration est discutable dans la mesure où elle suppose une construction commune d'objectifs et de tâches, alors que les situations d'usage de ces robots au travail semblent davantage relever de formes de coordination entre humain et robot, le robot agissant comme un assistant (Rogalski, 1994, Barcellini, 2020). Dans cette continuité, la robotique mobile autonome (AMR) soulève des enjeux liés à leur mobilité et leur autonomie décisionnelle - au sens technologique - en particulier en ce qui concerne les interactions travailleurs-robots dans des environnements dynamiques partagés. S'ils promettent la réduction des déplacements, la fluidification des flux (Fragapane et al., 2021), leur autonomie technique - percevoir, planifier, décider - ne garantit pas une autonomie pour les opérateurs. Ils peuvent, en effet, dégrader l'efficacité, la conscience de la situation des travailleurs et donc générer de nouvelles exigences de surveillance, de contrôle et de manutention pour les travailleurs (Beer et al., 2014). Enfin, les MM combinant mobilité « autonome » et capacités de manipulation par l'intégration de bras (Chung et al., 1998), sont présentés comme des systèmes flexibles d'assistance aux opérateurs, notamment dans des environnements de travail moins déterminés qu'en robotique classique (p.ex. en extérieur). Leur développement fait émerger des « verrous scientifiques et technologiques » pour la robotique liée à la planification des mouvements, au contrôle et à l'intégration des MM en environnements dynamiques au contact des humains (Sereinig et al., 2020).

Ces premiers éléments de présentation d'un IMM dénotent des promesses technologiques associées généralement aux technologies, dont on sait qu'elles sont souvent en décalage avec les réalités d'usages au travail, les systèmes étant souvent développés à partir de possibilités techniques plutôt que de besoins issus de l'activité, ce qui génère un décalage entre intentions de conception et conditions concrètes d'usage (Sperandio, 2001). Dans cette perspective, l'introduction d'un manipulateur mobile interactif au travail pourra constituer à la fois une ressource et une contrainte pour le travail, en fonction des choix opérés au cours du processus de conception (Rabardel, 1995 ; Barcellini et al., 2019). Pour pallier cet écueil, notre travail de thèse vise ainsi à nourrir ce processus par des connaissances sur le travail et à interroger les contributions possibles de l'ergonomie en phase amont de conception.

### Quel cadre théorique de la conception/prospective mobilisé ?

À ce stade, nous interrogeons les cadres théoriques mobilisables - prospective, ergonomie prospective et ergonomie de conception - pour penser la contribution de l'ergonomie au projet. L'enjeu n'est pas tant de décrire des usages futurs que de créer les

conditions d'une réflexion collective sur des situations de travail à venir, afin d'alimenter les choix de conception en « peuplant les représentations des concepteurs ».

Nous proposons une première exploration de ces cadres, en nous appuyant en premier lieu sur les démarches prospectives, qui visent à soutenir la construction collective d'avenirs possibles et à élaborer des représentations « cohérentes » de futurs, avec pour ambition première d'éclairer l'action présente en explorant le champ des possibles (Godet, 2001). Dans des projets de conception robotique, cette approche pourrait apparaître pertinente face à l'incertitude des usages et des transformations de l'activité à venir. Toutefois, elle demeure souvent centrée sur des dimensions macroscopiques, économiques ou technologiques, laissant une place variable aux dimensions humaines (Brangier & Robert, 2014). Pour pallier cet écueil, l'ergonomie prospective adopte une posture plus « micro », basée sur la compréhension des régulations fines de l'activité. Des travaux récents proposent ainsi d'identifier des "Situations de Travail à Enjeux Prospectifs" (STEP), consistant à repérer des situations existantes susceptibles de faire émerger des tensions "transférables" et discutables dans d'autres situations de travail (Biencourt, 2025). En effet, la validité des projections concernant un travail futur constitue un enjeu méthodologique important d'action en conception, impliquant de les mettre en discussion (Falzon, 2013 ; Béguin, 2013). Divers outils peuvent accompagner ces projections : ateliers participatifs, entretiens exploratoires, expérimentation sur simulateur, design fiction (Derouiche, 2024). Parmi ces dispositifs, les scénarios d'usage, qui s'inscrivent plus largement dans le cadre du *Scenario-Based Design*, occupent une place particulière dans les démarches d'ergonomie de conception en tant qu'outils narratifs structurés, permettant de représenter concrètement l'usage futur d'un système en intégrant opérateurs, situations, objets et objectifs (Carroll, 2000). Au-delà des scénarios, divers dispositifs favorisent la créativité et la mise en discussion collective en conception : *design thinking*, *brainstorming*, récits fictifs (Bonnardel & Lubart, 2019). Dans ce sens, certains supports jouent un rôle spécifique dans la mise en discussion des projections. Le dessin, articulé au récit oral, apparaît comme un objet intermédiaire permettant de rendre visibles les représentations internes des acteurs, les dimensions de l'activité peu accessibles par « le verbal » seul - les marges de manœuvre, les contraintes spatiales, les dynamiques gestuelles ou les formes de co-présence - et permet de soutenir l'interprétation, la discussion et la négociation entre acteurs aux cadres de référence hétérogènes (Jeantet, 1998 ; Vinck, 2009 ; Gras-Gentiletti et al., 2018). Son usage dans le projet étudié apparaît ainsi prometteur.

## LES OBJECTIFS DE LA THÈSE

Dans ce contexte et compte tenu de ces premières explorations théoriques, notre travail de thèse s'organise à ce jour autour de trois objectifs complémentaires :

### **Objectif 1 : Caractériser le projet de recherche et de conception dans lequel nous sommes impliqués**

Il s'agit de caractériser la nature du projet en robotique, en analysant ses modalités ainsi que les enjeux scientifiques et techniques portés par les roboticiens. Cet objectif vise également à situer la place et le rôle de la démarche ergonomique dans ce contexte interdisciplinaire, et à interroger les connaissances qu'elle peut apporter pour alimenter la conception et soutenir la prise en compte de l'activité et du travail en phase amont de conception. Cet objectif conduit à envisager la compréhension des cadres du projet permettant d'anticiper et de discuter des configurations futures de l'activité.

## **Objectif 2 : Contribuer à développer les démarches prospectives en ergonomie de conception**

Cet objectif vise à contribuer à une réflexion sur le développement d'une démarche prospective en ergonomie, en interrogeant le positionnement de la discipline dans des projets tournés « vers des futurs possibles ». Nous envisageons à la fois d'articuler les cadres théoriques de la prospective, de l'ergonomie prospective et de l'ergonomie en conception et de participer à des dispositifs à visée prospective interdisciplinaires (suivis d'ateliers de « futuring » ou de design prospectif dans le cadre d'événements scientifiques) en interrogeant concrètement les manières de penser et de discuter des situations de travail futures dans ces dispositifs.

## **Objectif 3 : Nourrir ce projet de conception de l'expérience d'ergonomes**

À ce stade du projet et de notre recherche, et comme les situations de travail ne sont pas connues, nous avons envisagé de nourrir le processus de conception de connaissances de situations de travail diversifiées, issues de l'expérience d'ergonomes. Il s'agit de soutenir l'explicitation par des ergonomes de situations de travail potentielles comme ressource pour alimenter la conception. Nous pensons explorer les méthodes et les objets intermédiaires, en particulier les représentations graphiques (ici le dessin) et d'analyser leur rôle comme supports de discussions et de projection interdisciplinaire. L'enjeu est de comprendre en quoi ces objets peuvent constituer des repères de conception et sous quelles conditions ils peuvent être « appropriés » par les chercheurs en robotique du projet.

## **MÉTHODOLOGIE**

Nous présentons ici la méthodologie qui s'organise autour des trois objectifs de la thèse. Ces axes sont travaillés en parallèle et n'ont pas tous atteint le même niveau d'avancement à ce stade de la recherche.

**Comprendre le projet de conception en robotique** : Afin de caractériser le projet de conception en robotique, des entretiens exploratoires ont été menés auprès de cinq roboticiens impliqués dans le projet (coordinateurs et doctorants). Réalisés à distance et d'une durée d'une heure, ils visaient à comprendre les objectifs du projet, les usages envisagés de l'IMM, la place accordée à l'activité de travail et les dynamiques interdisciplinaires. En complément, des observations de réunions de conception entre roboticiens sont menées avec pour objectif d'analyser les logiques de conception à l'œuvre, d'identifier les priorités, les verrous techniques, les références au travail et aux contextes d'usage, ainsi que les situations "limites", c'est-à-dire susceptibles de mettre le robot et/ou les travailleurs en difficulté en conditions d'usage. Les données issues des entretiens ont été analysées après transcription par une analyse thématique (p.ex. capteurs, interactions humain-robot, applications d'usage, sécurité, normes et réglementation, etc.), fondée sur une lecture itérative du corpus. Les données issues des réunions n'ont pas encore été analysées.

**Développer une démarche prospective en ergonomie** : Cet axe s'appuie sur la participation à deux dispositifs exploratoires interdisciplinaires et l'analyse de leurs productions. Le premier est un atelier de co-design d'une journée, dont nous avons observé la préparation (quatre réunions de trois heures) et le déroulement : 16 acteurs du PIMM (SHS, informatique,

robotique) y ont produit des canvas de scénarisation prospective et des fiches de collaboration. Le second, inscrit dans les « Transnumériques », est un atelier de *design futuring* réunissant des doctorants en SHS, sciences de gestion et ingénierie autour de la construction de scénarios souhaitables à l'horizon 2050, à partir des scénarios ADEME, de l'identification de verrous et d'attracteurs, puis de la formulation de pistes d'action et de recherche. Cette « observation participante » permet d'expérimenter différentes façons de projeter, représenter et discuter des situations de travail et des sociétés futures. Elle donne lieu à des rapports d'étonnement (productions écrites réflexives formalisant les éléments saillants observés), destinés à nourrir la réflexion sur le positionnement et le développement d'une démarche prospective en ergonomie.

**Expliciter et outiller l'expérience des ergonomes :** À titre d'expérimentation, un groupe de travail d'ergonomes a été organisé afin de « mobiliser » l'expérience professionnelle des ergonomes et de favoriser la projection vers des situations de travail futures intégrant un IMM. La séance, d'une durée de trois heures et menée en format hybride, a réuni 4 ergonomes aux profils variés (consultantes, ergonome interne, doctorant en ergonomie), sélectionnés pour leur expertise en analyse de l'activité et leur connaissance de contextes industriels ou agricoles. Elle s'est structurée en trois temps : (1) explicitation libre de situations professionnelles pertinentes au regard des potentialités du robot ; (2) production individuelle de représentations graphiques (croquis, mots-clés) intégrant le robot dans un environnement de travail, suivie d'une mise en discussion collective ; (3) synthèse des éléments à transmettre aux concepteurs (enjeux de l'activité, points de vigilance à prendre en compte). Les échanges et les commentaires sur les productions graphiques ont été enregistrés (audio et vidéo), avec le consentement des participants, afin d'en permettre l'analyse. Les échanges ont été transcrits, puis codés et analysés selon une démarche qualitative inspirée de la méthode COMET (Darses et al., 2001). Le codage a porté sur la dynamique des interactions en conception collective (Darses et al., 2001), sur les dimensions de l'activité (Rabardel, 1995), ainsi que sur l'ancrage des discours entre expérience professionnelle et projection vers des situations futures (Rabardel & Pastré, 2005 ; Derouiche, 2024), complété par une analyse thématique des verbatims. L'analyse de la dynamique des interactions vise à identifier comment les ergonomes mobilisent leurs expériences passées pour proposer des situations de travail futures. Elle permet ainsi de comprendre le rôle des échanges dans l'élaboration et la mise en forme des projections produites. Les productions graphiques ont été examinées comme supports de mise en visibilité de l'activité, en croisant leur contenu (acteurs, tâches, environnement, fonctionnalités) avec les verbalisations des ergonomes afin d'identifier des enjeux liés aux situations de travail projetées (polyvalence et adaptabilité, accessibilité, sécurité et prévention des risques, place des travailleurs et du robot

## PREMIERS RÉSULTATS

À ce stade, les résultats portent sur la compréhension du projet et l'explicitation de l'expérience des ergonomes. Il s'agit d'analyses encore en cours. L'objectif relatif au développement d'une démarche prospective en ergonomie n'ayant pas encore fait l'objet d'une analyse, les éléments associés sont présentés sous forme de perspectives dans la dernière partie de la communication.

**Comprendre le projet de conception en robotique** : L'analyse des entretiens et des observations met en évidence que les choix de conception se structurent principalement autour de contraintes scientifiques, techniques et de faisabilité, notamment lors de discussions sur l'élaboration du cahier des charges, avec peu de références explicites à l'activité future. Par exemple, les thématiques qui ressortent sous un angle technique sont liées aux capteurs et la perception, la planification, les interactions humain-robot ou encore les questions d'expérimentation. Les représentations du travail apparaissent fragmentées, au sens où les roboticiens évoquent des activités variées (ex : cueillette de pommes ou de raisin) sans les situer dans des contextes de travail précis et les connaissances mobilisées renvoient surtout à des repères techniques centrés sur les fonctions du robot, sans cadre partagé entre disciplines pour penser collectivement ses usages. Dans ce contexte, la place de l'ergonomie demeure en construction, entre une contribution attendue sur les interactions et sur les usages "plus tard" et une réflexion sur les connaissances mobilisables en phase amont du projet.

**Expliciter et outiller l'expérience des ergonomes** : Nos analyses des données révèlent que l'expérience professionnelle des ergonomes leur permet d'élaborer des projections de situations de travail futures avec un IMM. L'analyse des échanges montre une articulation entre expériences vécues et projection à partir de situations analogues connues des ergonomes. Cette mobilisation de références permet de jouer un rôle de base commune entre les participants pour introduire des contraintes réellement rencontrées (espaces exigus, contraintes de milieu, etc.), intégrer des aléas et l'instabilité des environnements de travail. Les réflexions des ergonomes abordent différents niveaux d'analyse de l'activité (micro, méso, macro), en articulant tâches, contraintes, régulations, marges de manœuvre et enjeux de coactivité, tout en intégrant la variabilité et l'incertitude du travail réel. Les situations évoquées portent sur des environnements contraints, soulevant des enjeux de circulation, de sécurité entre robot et activité humaine. L'analyse des interactions met en évidence un processus de co-construction des projections dans lequel le dessin apparaît comme un objet intermédiaire pour matérialiser les projections. Articulé aux explications orales, le dessin a permis d'ancrer les usages potentiels du robot dans des contextes situés, de rendre discutables des configurations de coactivité (espaces, flux, obstacles, zones), et de faire émerger des situations de travail à enjeux prospectifs au sens de repérage de tensions et de compromis potentiels (sécurité, compatibilité spatiale, contrôle humain, polyvalence/limites de l'autonomie/ répartition des tâches). Par exemple, dans le cas du démantèlement nucléaire, le dessin rend visible un environnement contraint (confiné et absence de présence humaine directe) et des enjeux de sécurité (réduction de l'exposition humaine), par un maintien d'un contrôle à distance de l'opérateur et à l'intervention du robot en milieu "contaminé". Il rend également visibles l'organisation des outils sur le robot (pince, cisaille, aspirateur, pelle), l'accès à différentes zones d'intervention (au sol ou en hauteur), ainsi que les conditions de déplacement sur un sol irrégulier. Nous faisons l'hypothèse que ces représentations pourraient permettre de formuler des critères/repères de conception, en rendant visibles des conditions d'insertion du démonstrateur dans l'activité, et en ouvrant un espace de discussion sur ce qui est acceptable, soutenable et faisable. Les supports pourraient également être mobilisés pour discuter du transfert d'usages ou d'enjeux entre différents secteurs d'activité, par exemple dans le contexte actuel d'évolution du projet IMM vers le secteur agricole, à partir de situations initialement issues du domaine industriel.

## PERSPECTIVES

Dans le prolongement de l'objectif 1, une poursuite de l'état de l'art apparaît nécessaire concernant les effets des technologies dites autonomes sur le travail, en particulier autour des niveaux d'autonomie et des fonctionnalités techniques associées. Il s'agira également de mieux qualifier les changements technologiques en cours, notamment l'articulation entre AMR, MM et IMM, afin d'anticiper leurs effets potentiels sur l'activité future. En lien avec l'objectif 2, ce travail ouvre des perspectives de consolidation du cadre théorique en prospective, ergonomie prospective et ergonomie de conception, à travers la poursuite des lectures et la réalisation d'entretiens avec des chercheurs de ces disciplines. L'analyse des supports mobilisés dans les ateliers de co-design et de design futuring permettra également de mieux comprendre leur rôle dans la structuration des projections et des discussions interdisciplinaires. Enfin, au regard de l'objectif 3, la mise en discussion des productions des ergonomes avec les doctorants en robotique du projet IMM, ainsi que le retravail des scénarios élaborés, constituent des pistes pour alimenter plus directement le processus de conception et en analyser les effets. Il s'agira également d'interroger dans quelle mesure les enjeux identifiés à partir de ces productions peuvent être transférés dans le secteur agricole, notamment en les confrontant à des experts du terrain.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barcellini, F. (2020). Quelles conceptions de la coopération humains-robots collaboratifs?. Une expérience de participation au projet de conception d'un démonstrateur de robotique collaborative. *Activités*, (17-1).
- Barcellini, F., Bencheikroun, T. H., Buchmann, W., & Zouinar, M. (2019). Le développement technologique : ressources ou contraintes pour un travail en santé tout au long de la vie professionnelle?.
- Beer, J. M., Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (2014). Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction. *Journal of human-robot interaction*, 3(2), 74.
- Béguin, P. (2013). La conception des instruments comme processus dialogique d'apprentissages mutuels. In *Ergonomie constructive* (pp. 147-160). Presses Universitaires de France.
- Biencourt, M. (2025). L'analyse du travail et de l'activité : socle d'une ergonomie prospective face aux enjeux de l'IA. Le cas des acteurs des centres de tri des déchets. (Doctorat de l'Université de Toulouse).
- Bonnardel, N., & Lubart, T. (2019). La créativité : approches et méthodes en psychologie et en ergonomie. *RIMHE : Revue Interdisciplinaire management, homme & entreprise*, 378(4), 79-98.
- Brangier, É., & Robert, J. M. (2014). L'ergonomie prospective : fondements et enjeux. *Le travail humain*, 77(1), 1-20.
- Carroll J. M. (2000), Making use : Scenario-based design of human-computer interactions, *The MIT Press*, Cambridge.
- Chung, J. H., Velinsky, S. A., & Hess, R. A. (1998). Interaction control of a redundant mobile manipulator. *The International Journal of Robotics Research*, 17(12), 1302-1309.
- Darses, F., Détienne, F., Falzon, P., & Visser, W. (2001). *COMET. A method for analysing collective design processes* (Doctoral dissertation, INRIA).

- Derouiche, M., Burkhardt, J. M., Cahour, B., & Adele, S. (2024, June). Imaginer la mobilité de demain : Quel protocole méthodologique pour projeter l'utilisateur dans l'expérience d'un futur possible ?. In *Doctoriales ARPEGE 2024* (pp. 11-16).
- Falzon, P. (2013). Pour une ergonomie constructive. In *Ergonomie constructive* (pp. 1-16). Presses universitaires de France.
- Fragapane, G., Hvolby, H. H., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020, August). Autonomous mobile robots in hospital logistics. In *IFIP international conference on advances in production management systems* (pp. 672-679). Cham: Springer International Publishing.
- Godet, M. (2001). Prospective et dynamique des territoires. *FUTURIBLES-PARIS-*, 25-34.
- Gras Gentilleti, M., Lahoual, D., Kahn, J., Bationo-Tillon, A., Bourmaud, G., & Decortis, F. (2018, October). Donner à voir et converser sur l'activité. Le dessin comme objet intermédiaire. In *ERGO'IA. ACM 2018*
- Jeanet, A. (1998). Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie du travail*, 291-316.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains* (p. 239). Armand Colin.
- Rabardel, P., & Beguin, P. (2005). Instrument mediated activity: from subject development to anthropocentric design. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 6(5), 429-461.
- Rogalski, J. (1994). Formation aux activités collectives. *Le travail humain*, 367-386.
- Sperandio, J.-C. (2001). Critères ergonomiques de l'assistance technologique aux opérateurs. *Communication au Congrès JIM' 2001 : Interaction Homme-Machine & Assistance, Metz, France.*
- Vinck, D. (2009). De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 31(1), 51-72.

---

# Comportements à risque en milieu nucléaire : approche systémique des tirs radiographiques

**Léa Giry**

Aix Marseille Université, Laboratoire PSYCLE / EDF R&D, Département PERICLES, Groupe FOH  
lea.giry@edf.fr / lea.giry@etu.univ-amu.fr  
Deuxième année de thèse en psychologie ergonomique

**Sylvain Leduc**

Aix Marseille Université, Laboratoire PSYCLE  
sylvain.leduc@univ-amu.fr

**Joseph Moysan**

Aix Marseille Université, Laboratoire LMA  
joseph.moysan@univ-amu.fr

**Anthony Rosier**

EDF R&D, Département PERICLES, Groupe FOH  
anthony.rosier@edf.fr

**Anne Russel**

EDF R&D, Département PERICLES, Groupe FOH  
anne.russel@edf.fr

---

## RÉSUMÉ

---

Dans les industries à haut niveau de fiabilité, les comportements à risque (CAR) constituent une préoccupation majeure. Cette recherche exploratoire, menée dans le cadre d'une thèse CIFRE en partenariat avec EDF R&D, propose une analyse ergonomique des facteurs organisationnels et humains conditionnant l'émergence de CAR lors des tirs radiographiques (TR) en milieu nucléaire. En combinant entretiens semi-directifs (n=30), observations directes sur deux sites et analyse documentaire, un modèle systémique explicatif est élaboré à trois niveaux : macro-structurel, méso-organisationnel et micro-situationnel. Les résultats montrent que les CAR ne relèvent pas de défaillances individuelles isolées, mais émergent de tensions structurelles entre prescriptions de sécurité et contraintes productives, médiatisées par des mécanismes de régulation individuels, collectifs, managériaux et organisationnels (MICO). Ce modèle ouvre des pistes pour des interventions préventives centrées sur la transformation des situations de travail.

---

## MOTS-CLÉS

Fiabilité ; Facteurs organisationnels et humains ; Comportements à risque ; Ergonomie ; Systémique

---

## 1 INTRODUCTION

Dans le secteur nucléaire, les enjeux de sécurité sont particulièrement critiques : les conséquences d'une défaillance peuvent être catastrophiques (Amalberti, 2001). La radioprotection (RP) mobilise des pratiques sûres, des dispositifs techniques et organisationnels robustes, ainsi que des dynamiques de régulations individuelles et collectives pour protéger les intervenants des rayonnements ionisants. Depuis plusieurs années, la Division de la Production Nucléaire d'EDF observe, lors des activités de Contrôles et Essais Non

Destructifs (CEND) et plus spécifiquement des tirs radiographiques (TR), une augmentation d'événements significatifs liés à des comportements à risque (CAR) tels que des oublis de port de dosimètre ou des pratiques interdites.

Ces activités, analogues à une radiographie médicale appliquée à des matériaux, présentent un risque d'exposition à la radioactivité élevé. Selon l'IRSN (2015), le débit de dose à proximité d'une source peut atteindre plusieurs centaines de millisieverts par heure. Une analyse des événements recensés entre 2018 et 2023 identifie quatre causes principales : des défaillances dans l'élaboration du plan de balisage, des comportements inadaptés des opérateurs, des franchissements non autorisés de zones et défauts de vérification d'absence d'individus avant le tir.

Dans son rapport de 2024, l'Inspection Générale pour la Sûreté Nucléaire et la Radioprotection (IGSNR) appelle à un changement d'approche : plutôt que de se concentrer sur les comportements individuels, il convient d'interroger les situations de travail qui les conditionnent. Ce déplacement de focale, d'une approche comportementaliste vers une approche situationnelle et organisationnelle, constitue le cœur de cette recherche.

## **2 PROBLEMATIQUE**

Cette recherche s'inscrit dans une approche ergonomique centrée sur l'analyse de l'activité réelle, reconnaissant que les écarts aux règles ne relèvent pas toujours d'une défaillance individuelle mais peuvent constituer des ajustements nécessaires face aux contraintes du travail (Leplat, 1997 ; Daniellou, 2002). La question centrale est : quels sont les facteurs organisationnels et humains qui conditionnent l'émergence de CAR lors des tirs radiographiques en milieu nucléaire ?

Trois hypothèses opérationnelles structurent ce travail. H1 : le rapport au risque (RAR) des opérateurs est modulé par des facteurs organisationnels et culturels, notamment la densité normative et le positionnement institutionnel de la radioprotection. H2 : la professionnalisation, via le compagnonnage, transforme la manière dont les opérateurs évaluent et régulent les risques. H3 : les cultures de radioprotection prescrites et vécues influencent l'adhésion ou le contournement des règles.

## **3 CADRE THEORIQUE**

### **3.1 Perception du risque et rapport au risque**

Les rayonnements ionisants présentent la particularité d'être imperceptibles aux sens humains. Cette invisibilité pose des défis spécifiques de vigilance (IGSNR, 2023). Les travaux sur la perception du risque montrent qu'elle est influencée par des facteurs cognitifs et sociaux (Jenkins et al., 2024) : les risques à effets différés sont systématiquement minimisés par les biais cognitifs (Kouabenan, 2001 ; ICSI, 2021). Lorsque la menace perçue est élevée mais l'efficacité des protections jugée insuffisante, les individus développent des stratégies de contrôle de la peur (dénier, évitement) plutôt que de contrôle du danger (Witte, 1992). Au-delà de la perception instantanée, nous mobilisons le concept de Rapport au Risque (RAR) défini comme une construction cognitive, sociale et culturelle intégrant l'expérience passée et les arbitrages constants entre impératifs de sécurité et objectifs de performance.

### **3.2 Professionnalisation et culture de radioprotection**

La professionnalisation combine l'apprentissage, la reconnaissance et la légitimation des compétences (Dubar, 1991 ; Wittorski, 2007), alimentée dans les temps de formation et

dans l'activité réelle (Weill-Fassina & Pastré, 2004). Un écart peut exister entre la culture RP prescrite par l'institution et les cultures vécues sur le terrain, façonnées par des pratiques collectives et des régulations informelles (Fucks, 2011). Les travaux sur la culture de sécurité (Reason, 1997 ; Zohar, 1980) montrent qu'une culture effective se construit dans les pratiques quotidiennes à travers les régulations managériales et les modalités de transmission des savoirs. La justice organisationnelle apparaît aussi comme un déterminant majeur de la qualité des remontées d'information et de la capacité collective à apprendre des incidents.

### **3.3 Facteurs organisationnels et tensions productives**

La politique de prolongation de la durée de vie des centrales, couplée à l'externalisation des prestations de CEND, génère des pressions temporelles et économiques susceptibles d'entrer en conflit avec les prescriptions de radioprotection. Les approches systémiques des organisations à risques (Reason, 1997 ; Rasmussen, 1997) montrent que les accidents résultent de dérives progressives liées aux arbitrages structurels entre production, sécurité et coûts. Dans ce cadre, les comportements observés ne sont pas des « erreurs humaines » isolées mais des réponses locales adaptées à des contraintes globales ; cette distinction renvoie directement à la notion d'écart entre travail prescrit et travail réel (Leplat, 1997).

## **4 METHODOLOGIE**

Cette recherche s'inscrit dans une démarche qualitative visant à analyser l'activité réelle de tir radiographique, combinant trois modes de recueil avec triangulation des matériaux (codage thématique inspiré de la Grounded Theory, Charmaz, 2024).

Les observations directes ont été menées sur deux sites (Site A : 2 jours en septembre-octobre 2024 ; Site B : 1 journée et 1 soirée en avril 2025). Elles ont porté sur des réunions de coordination TR, des pré-job briefings (PJB), des phases de préparation des TR et des échanges informels. Les observations ont été conduites de manière ouverte, sans grille pré-établie, avec prise de notes sur les pratiques observées.

Trente entretiens semi-directifs ont été réalisés : 20 par l'équipe R&D auprès d'acteurs du CEND, complétés par 10 menés dans le cadre de la thèse. Les profils sont les suivants : chefs de chantier, ingénieurs RP, managers de proximité, chargés d'affaires, référents tirs radio et, dans une moindre mesure, opérateurs réalisant les tirs. Les entretiens, menés en distanciel et en présentiel, portaient sur la professionnalisation des acteurs, la déclinaison du processus de TR, les rôles du management de proximité et les cultures RP.

Huit rapports d'événements interne en RP et des documents internes (processus élémentaire, rapports annuels) ont fait l'objet d'une analyse documentaire. Ces documents, produits en interne par EDF, parfois plusieurs jours après les événements, sont susceptibles de véhiculer des biais de confirmation, d'attribution et de désirabilité sociale ; cette limite est reconnue en interne mais n'est pas systématiquement intégrée dans l'analyse des causes.

## **5 RESULTATS PRELIMINAIRES**

Les résultats sont présentés selon les trois types de matériaux. Le contexte général : l'exploitation des centrales EDF s'inscrit sous le contrôle et les recommandations de l'ASNR à l'échelle nationale et locale. La politique de prolongation de la durée de vie des centrales, combinée à l'externalisation des CEND, configure un espace des possibles contraint, sans forcément déterminer mécaniquement les comportements, qui pèse sur les dispositifs de formation et les cultures RP vécues.

## 5.1 Résultats issus des entretiens

La catégorie 1 (tension normative) est documentée par 11 sources aux profils variés. Elle ne décrit pas une sur-réglementation objective mais une tension vécue entre densité normative et maîtrise réelle du risque ; cette tension semble avoir des effets comportementaux indépendamment de son fondement objectif. Deux pôles coexistent : une légitimité reconnue des exigences nucléaires (« *On travaille dans le nucléaire, c'est normal qu'il y ait des exigences* », radiotechnicien, partenaire) et une saturation normative perçue qui peut ouvrir la voie à une sélection informelle des règles à appliquer.

La catégorie 2 (professionnalisation fragmentée) révèle un écart entre la formation initiale de CAMARI (décrite comme générique, peu adaptée aux processus internes EDF) et les exigences opérationnelles concrètes. Le compagnonnage constituerait la voie principale d'acquisition des compétences (durées estimées : jusqu'à 2 ans pour un chargé de travaux), mais sa continuité semble être fragilisée par un turn-over. La parcellisation des rôles (préparateur, tireur, développeur, interprète) pourrait réduire la capacité des intervenants à appréhender la situation dans sa globalité.

La catégorie 3 (rapport au risque) fait émerger plusieurs dimensions qui semblent configurer le RAR. Les entretiens suggèreraient quatre mécanismes : l'invisibilité du danger et l'absence de feedback sensoriel, le paradoxe de l'expérience (la familiarité abaisse le seuil de vigilance), un glissement du risque radiologique vers le risque disciplinaire, et peut-être une sous-estimation collective de la RP dans la hiérarchie institutionnelle des priorités (« *On parle beaucoup de sûreté, et très peu de radiopro.* », expert FOH, EDF). Ces dimensions semblent confirmer que le RAR est configuré par l'expérience, les signaux managériaux et la place institutionnelle de la RP.

Les catégories 4 à 6 évoqueraient respectivement : une potentielle pluralité de cultures RP vécues en écart partiel avec la culture prescrite nationale (variabilité inter-sites, fracture générationnelle dans la transmission, « hypocrisie institutionnelle » perçue entre discours sécuritaire et indicateurs de performance) ; un management de proximité dont la qualité (soutien, lisibilité, cohérence) pourrait être individu-dépendante – sans que les données ne permettent de généraliser ce constat – et dont l'absence structurelle la nuit semble constituer un angle mort ; et, comme piste analytique plutôt que comme un résultat établi, un possible continuum de l'ajustement légitime à la transgression acceptée, dont la direction dépendrait des régulations en place.

Tableau 1. Synthèse du codage thématique issu des entretiens.

Catégorie	Sous-thèmes	Illustration	N
<b>1. Tension normative / sens opérationnel</b>	Foisonnement normatif ; hétérogénéité inter-sites ; procédures rédigées hors métier	« <i>Procédures extrêmement lourdes, sans intérêt pour la bonne réalisation du travail.</i> » (Expert CND, partenaire)	11
<b>2. Professionnalisation fragmentée</b>	Écart formation prescrite / compétences réelles ; compagnonnage dégradé ; turn-over	« <i>Génération d'un turn-over hallucinant, difficile de trouver un contrôleur avec 5 ans d'expérience.</i> » (Expert CND senior)	14
<b>3. Rapport au risque construit dans l'activité</b>	Invisibilité du danger ; banalisation progressive possible ; paradoxe de l'expérience	« <i>On ne voit pas le danger, il est invisible, donc on s'autorise à franchir le balisage.</i> » (Expert FOH, EDF)	11

<b>4. Culture RP : écart prescrit / vécu</b>	Variabilité inter-sites ; saturation normative ; fracture générationnelle	« Règles locales qui varient d'un site à l'autre. Risque de perte de sens, effet de saturation. » (Formateur, EDF)	13
<b>5. Rôle pivot du management de proximité</b>	Management facilitateur vs coercitif ; absence surveillance nocturne	« SPR qui ont parfois un rôle de flic plutôt que d'appui technique. » (Superviseur TR, Partenaire)	10
<b>6. Du compromis opératoire à la transgression acceptée</b>	Ajustements opératoires possiblement récurrents ; écarts non systématiquement remontés ; possible normalisation progressive	« Il y a des choses qui ne s'écrivent pas dans un compte rendu. » (Ingénieur RP, EDF)	8

### 5.2 Résultats issus des observations

Les observations sur les deux sites semblent illustrer des cultures locales contrastées. Sur le Site A, la réunion de coordination présente un format directif et descendant ; les aléas (déclassement de zone, logistique incomplète) sont traités sur un mode déclaratif. Sur le Site B, le même type de réunion laisse davantage de place aux échanges, dont un point est révélateur : un prestataire signale ne pas vouloir porter un harnais ; la coordinatrice répond « on ne va pas arrêter tous les tirs tous les jours ». Cet échange illustre un arbitrage collectif explicite entre conformité procédurale et continuité de la production. Un PJB observé sur le Site B (20h10-20h16, 6 minutes, 4 personnes) interroge la tension entre la fonction prescrite du briefing et sa réalisation concrète. Ces données, limitées à deux sites et quelques séquences, constituent des illustrations situées et non des données représentatives.

### 5.3 Résultats issus de l'analyse documentaire

L'analyse des 8 rapports d'événements permet d'en identifier 3 types : défaillances dans la maîtrise des fondamentaux (balisage, EPI, procédures), manquements documentaires (plans de balisage, permis) et difficultés de coordination inter-acteurs en coactivité. Quatre rapports attribuent l'événement à un « potentiel de défaut de culture RP » des intervenants ; cette formulation centre l'analyse sur les dispositions individuelles plutôt que sur les conditions organisationnelles et est incomplète au regard d'une lecture systémique. Le bilan EDF 2018-2023 identifie les mêmes causes principales, adressées par des leviers (renforcement des compétences, harmonisation) qui ciblent principalement les défaillances procédurales ponctuelles et non les ajustements opératoires situés.

### 5.4 Mécanismes de régulation (MICO) et modèle systémique

La triangulation des matériaux suggère l'existence de quatre types de mécanismes de régulation, dont la description reste provisoire et devra être confirmée : MICO-I (individuels : stratégies de prudence accrue ou de contournement sélectif), MICO-M (managériaux : arbitrages entre prescriptions et contraintes productives), MICO-C (collectifs : règles de métier informelles, solidarité nocturne, légitimation collective des dérives), et MICO-O (organisationnels : procédures formelles, dispositifs REX, outils de coordination). Ces quatre blocs pourraient s'articuler de la façon suivante, même si cette articulation reste à étayer : une saturation normative perçue tend à générer des MICO-I de contournement qui, une fois légitimés collectivement (MICO-C), se stabilisent en pratiques de fait. Des MICO-M robustes, c'est-à-dire portés dans des dispositifs institutionnalisés plutôt que dans des individus, peuvent rompre cette boucle.

Ces premiers éléments permettent d'élaborer un modèle hypothético-déductif systémique articulant trois niveaux. Au niveau macro-structurel, les politiques industrielles (prolongation de la durée de vie, externalisation) configureraient des contraintes pesant sur la formation et les cultures RP. Au niveau méso-organisationnel, ces contraintes se traduiraient par des tensions entre objectifs de production et exigences de sécurité, médiatisées par les régulations managériales et les cultures locales. Au niveau micro-situationnel, le RAR construit dans l'activité et les glissements de pratiques constitueraient les manifestations observables des tensions accumulées aux niveaux supérieurs. Des boucles de rétroaction adaptatives traverseraient ces trois niveaux : l'absence de conséquences immédiates d'un écart tendrait à normaliser progressivement celui-ci (Vaughan, 1996) ; inversement, un événement significatif pourrait ouvrir une fenêtre de transformation si les conditions organisationnelles sont elles-mêmes modifiées.

## 6 DISCUSSION

Ces résultats sont cohérents avec les travaux sur les organisations à haut niveau de fiabilité (Reason, 1997 ; Amalberti, 2013) ; soulignant le caractère systémique des défaillances, et font écho aux analyses de Vaughan (1996) sur la normalisation des déviations. La dimension temporelle est particulièrement importante : les effets différés des expositions aux rayonnements pourraient renforcer la tendance à la banalisation du risque radiologique.

Le modèle permet de dépasser une lecture individualisante des CAR pour les resituer dans leur contexte organisationnel et structurel. Il éclaire les tensions entre logiques de production et de sécurité qui constituent le terreau des arbitrages opérés par les opérateurs. Ces tensions ne résultent pas d'une « mauvaise volonté » mais de contradictions objectives dans le système de travail. Il souligne le rôle central des régulations managériales dans la construction d'une culture de sécurité effective au-delà des déclarations de principe.

Plusieurs limites méritent d'être signalées. Le corpus est marqué par un biais d'échantillonnage : les profils occupant des fonctions d'encadrement sont surreprésentés par rapport aux opérateurs réalisant les tirs. Un biais de désirabilité sociale possible malgré les dispositifs d'anonymisation. L'analyse porte sur un nombre limité de sites. Les processus cognitifs situés (mécanismes de prise de décision en situation d'incertitude) nécessitent le développement d'outils méthodologiques spécifiques. La validation du modèle par des interventions de transformation reste à mener.

## 7 PERSPECTIVES

Trois pistes de recherche se dégagent. La première consiste à approfondir l'analyse des processus de professionnalisation, en étudiant les modalités de transmission des savoirs lors du compagnonnage afin d'identifier ce qui est transmis au-delà des prescriptions officielles, y compris les pratiques dérogatoires normalisées. La deuxième vise à comprendre le rôle des MICO et leur influence sur les CAR, en explorant les arbitrages opérés par les managers de proximité entre logiques de sécurité, de production et de coordination. La troisième porte sur l'élaboration d'outils méthodologiques afin d'accéder aux processus cognitifs situés dans des contextes où l'observation directe est contrainte par la RP.

Une perspective plus appliquée consiste à développer, avec les acteurs de terrain, des dispositifs d'intervention ergonomique visant la transformation des situations de travail pour non seulement réduire les CAR mais aussi améliorer la santé et la qualité de vie au travail.

## 8 CONCLUSION

Cette recherche exploratoire, menée dans le cadre d'une approche ergonomique des CAR lors des tirs radiographiques en milieu nucléaire, invite à dépasser une lecture comportementaliste au profit d'une perspective systémique et située. Les résultats suggèrent que les comportements observés ne constituent pas des défaillances individuelles isolées mais émergent de tensions structurelles entre prescriptions de sécurité et contraintes productives, médiatisées par des MICO à quatre niveaux.

Le modèle proposé offre un cadre d'analyse intégré permettant de comprendre l'articulation des déterminants macro-structurels, méso-organisationnels et micro-situationnels dans la survenue des CAR. Les implications pratiques appellent à renouveler les approches préventives en RP, en orientant les efforts vers la transformation des situations de travail et des conditions organisationnelles qui génèrent les tensions auxquelles sont confrontés les opérateurs. Ce modèle pourrait être mobilisé dans d'autres contextes industriels à haut risque où se posent des questions similaires d'articulation entre prescriptions de sécurité et contraintes opérationnelles.

## 9 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (2001). *La conduite de systèmes à risques*. Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R. (2013). *Navigating safety: Necessary compromises and trade-offs – Theory and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4904-0>
- Charmaz, K. (2024). *Constructing grounded theory* (3e éd.). Sage Publications.
- Daniellou, F. (2002). Le travail des prescriptions. Dans *Actes du 37e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française (SELF)* (p. 13-22). SELF.
- Dubar, C. (1991). *La socialisation, construction des identités sociales et professionnelles*. Armand Colin.
- Fucks, I. (2011). *Essai sur la « culture radioprotection » des populations opérationnelles : un mythe managérial ?* (Document de recherche). EDF R&D.
- Inspection Générale pour la Sûreté Nucléaire et la Radioprotection [IGSNR]. (2023, 2024). *Rapport de l'Inspection Générale pour la Sûreté Nucléaire et la Radioprotection 2022*. EDF.
- Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle [ICSI]. (2021). *Culture de sécurité : Comprendre pour agir*. ICSI.
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire [IRSN]. (2015). *Analyse du risque d'exposition aux rayonnements ionisants lors de tirs de gammagraphie industrielle* (Rapport technique). IRSN.
- Jenkins, S. C., Lachlan, R. F., & Osman, M. (2024). An integrative framework for mapping the psychological landscape of risk perception. *Scientific Reports*, 14(1), Article 8963. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59189-y>
- Kouabenan, D. R. (2001). Incertitude, croyances et management de la sécurité. *Le Travail Humain*, 64(1), 3-31.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Presses Universitaires de France.
- Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: A modelling problem. *Safety Science*, 27(2-3), 183-213. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00052-0)
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.
- Ughetto, P. (2018). Line managers as work professionals. Dans *Work and organizations in flux: New spaces and boundaries of professional activities* (p. 23-34). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72365-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72365-5_3)

- Vaughan, D. (1996). *The Challenger launch decision: Risky technology, culture, and deviance at NASA*. University of Chicago Press.
- Weill-Fassina, A., & Pastré, P. (2004). Les compétences professionnelles et leur développement. Dans P. Falzon (Éd.), *Ergonomie* (p. 213-231). Presses Universitaires de France.
- Witte, K. (1992). Putting the fear back into fear appeals: The extended parallel process model. *Communication Monographs*, 59(4), 329-349.  
<https://doi.org/10.1080/03637759209376276>
- Wittorski, R. (2007). *Professionnalisation et développement professionnel*. L'Harmattan.
- Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations. *Journal of Applied Psychology*, 65(1), 96-102. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.65.1.96>

---

# Évaluer l'impact d'une assistance par exosquelette sur les contraintes physiques et cognitives lors d'une tâche de secours à la personne chez les sapeurs-pompiers.

**Retzmanick Gabriel**

Université de Lorraine, DevAH, F-54000 Nancy, France  
Université de Lorraine, PErSEUs, F-57000 Metz, France  
gabriel.retzmanick@univ-lorraine.fr  
Année d'inscription en thèse : 2025-2026

**Lemonnier Sophie**

Université de Lorraine, PErSEUs, F-57000 Metz, France  
[sophie.lemonnier@univ-lorraine.fr](mailto:sophie.lemonnier@univ-lorraine.fr)

**Maurice Pauline**

Université de Lorraine, CNRS, LORIA, F-54000 Nancy, France  
[pauline.maurice@loria.fr](mailto:pauline.maurice@loria.fr)

**Mornieux Guillaume**

Université de Lorraine, DevAH, F-54000 Nancy, France  
[guillaume.mornieux@univ-lorraine.fr](mailto:guillaume.mornieux@univ-lorraine.fr)

---

## RÉSUMÉ

Les sapeurs-pompiers réalisent des tâches particulièrement complexes et coûteuses tant sur les plans physique et cognitif, notamment lorsqu'elles sont associées au port de charge lourde. Malgré l'entraînement rigoureux des sapeurs-pompiers, cela pose deux problèmes majeurs liés à des différences de morphologie importante et au risque de développer des troubles musculosquelettiques (TMS). Le projet doctoral est centré sur l'évaluation d'une assistance physique par exosquelette chez les sapeurs-pompiers. Dans ce cadre, une première étude exploratoire a été menée afin de caractériser l'activité et d'identifier, en formation, les tâches potentiellement les plus contraignantes sur les plans biomécanique et physiologique, ainsi que celles pour lesquelles l'évaluation de cette assistance apparaît la plus pertinente. Le brancardage a été retenu comme tâche prioritaire pour la suite du projet. Une deuxième étude permettra d'évaluer expérimentalement l'impact de l'exosquelette sur cette tâche. Des mesures physiques et cognitives seront réalisées afin de comparer des conditions avec et sans exosquelette ainsi qu'en prenant en compte le sexe.

---

**MOTS-CLÉS :** *Exosquelettes, Sapeurs-pompiers, Ergonomie, Troubles Musculosquelettiques*

---

## INTRODUCTION

Les sapeurs-pompiers constituent un corps professionnel soumis à des contraintes physiques et cognitives particulièrement élevées. En France, ils assurent chaque année plusieurs millions d'interventions, dont la majorité relève du secours à personne, impliquant fréquemment des opérations de manipulation de personnes, de portage en environnement contraint et de manipulation d'outils lourds en situation d'urgence (Lavender et al., 2000). Malgré une condition physique généralement supérieure à celle de la population générale, l'exposition répétée à ces contraintes place les sapeurs-pompiers parmi les professions les plus à risque de blessures professionnelles, en particulier de troubles musculosquelettiques (TMS) (Osipov, 2019). La littérature met en évidence une prévalence élevée des TMS chez les sapeurs-pompiers, touchant principalement le rachis lombaire, les épaules et les membres inférieurs. Ces pathologies sont associées à des postures contraignantes, des efforts de soulèvement répétés, des charges externes élevées et des conditions d'intervention souvent défavorables (espaces confinés, sols instables, contraintes temporelles) (Frost et al., 2015; Nazari et al., 2020). Les différentes tâches exécutées par les sapeurs-pompiers apparaissent, à ce titre, comme particulièrement pénalisantes, combinant exigences physiques élevées, coordination collective complexe et maintien de postures non neutres sur des durées prolongées. Dans une perspective de prévention et d'amélioration des conditions de travail, l'analyse ergonomique et biomécanique des tâches constitue une étape essentielle. Elle permet d'objectiver, dans des situations de formation, une partie des contraintes biomécaniques, physiologiques et cognitives associées à l'activité, au-delà des seuls tests physiques génériques ou simulations décontextualisées. L'identification fine des sous-tâches, des stratégies posturales et des phases critiques ouvre ainsi la voie à la conception de solutions d'assistance adaptées aux exigences spécifiques du terrain (Genaidy et al., 1994). Les exosquelettes, passifs ou actifs, font l'objet d'un intérêt croissant comme dispositifs d'assistance physique, avec des effets potentiels sur l'activité musculaire, la fatigue perçue ou les contraintes articulaires (de Looze et al., 2016; Qu et al., 2025). Toutefois, leurs effets restent hétérogènes et dépendent fortement du type de tâche, du mode d'assistance et du contexte d'utilisation. Dans le champ des interventions de secours, la question de l'adéquation entre la tâche et le dispositif demeure donc centrale, une assistance inadaptée pouvant s'avérer inefficace, voire délétère (Lemonnier et al., 2023). Il apparaît donc indispensable, dans un projet centré sur l'évaluation d'un exosquelette, de caractériser au préalable les missions opérationnelles, leurs exigences biomécaniques et leur variabilité, afin d'identifier les situations dans lesquelles cette assistance pourrait être la plus pertinente. Par ailleurs, l'intégration croissante des femmes au sein des effectifs de sapeurs-pompiers soulève la question des différences interindividuelles liées au sexe dans l'exposition aux contraintes physiques (Prévoist & Seaugrand, s. d.). Plusieurs études suggèrent des expositions différenciées aux contraintes physiques entre femmes et hommes, liées notamment à des différences anthropométriques, de force relative et à l'adéquation des équipements (Nazari et al., 2019). L'analyse différenciée des contraintes et des effets potentiels des dispositifs d'assistance chez les femmes et les hommes apparaît ainsi comme un enjeu majeur, tant du point de vue de l'équité que de l'efficacité ergonomique. Dans ce cadre, ce travail s'inscrit dans une approche ergonomique de l'activité, considérant que les contraintes des sapeurs-pompiers relèvent de l'articulation entre exigences physiques, cognitives et situationnelles. À ce stade du projet, trois hypothèses exploratoires guident la démarche : certaines tâches, notamment en secours à la personne, exposeraient davantage les opérateurs à des contraintes biomécaniques élevées, en particulier au niveau lombaire ; les tâches les plus contraignantes ne seraient pas uniquement

les plus physiques, mais aussi les plus exigeantes sur le plan cognitif ; enfin, la pertinence de l'évaluation d'une assistance par exosquelette dépendrait de son adéquation aux caractéristiques de la tâche et à la variabilité interindividuelle des opérateurs.

## **MATERIEL & METHODE**

La première étude repose sur une démarche observationnelle exploratoire visant à caractériser les contraintes physiques et cognitives associées aux missions opérationnelles des sapeurs-pompiers, afin d'identifier les tâches pour lesquelles l'évaluation d'une assistance par exosquelette apparaît la plus pertinente. Huit formations opérationnelles ont été suivies au sein du Service Départemental d'Incendie et de Secours de Meurthe-et-Moselle (SDIS 54). Ces formations couvrent un large spectre des missions réalisées par les sapeurs-pompiers, incluant notamment : secours à personnes, secours routier, risques chimiques, feu de forêt, perfectionnement aux techniques de lances, scaphandrier léger autonome, échelle à crochets et unité de sauvetage d'appui et de recherche. L'ensemble des observations non participantes a été réalisé en immersion, sans modification des contenus pédagogiques définis par les formateurs, afin d'observer des situations standardisées proches de certaines exigences du terrain, sans pour autant couvrir l'ensemble des contraintes des interventions réelles. La population étudiée est composée exclusivement de sapeurs-pompiers engagés dans des formations initiales ou de perfectionnement. Selon les modules observés, les effectifs variaient entre une dizaine et une quinzaine de participants par formation, avec une représentation mixte incluant des femmes et des hommes. Aucune donnée anthropométrique individuelle n'a été recueillie, les contraintes temporelles et organisationnelles propres aux formations ne permettant pas un recueil systématique. Ce choix méthodologique s'inscrit dans une logique de priorisation de l'observation des tâches réelles plutôt que de la caractérisation individuelle fine des opérateurs à ce stade du projet. Sur les huit formations, cinq ont été retenues sur des critères de pertinence, notamment au regard de la possibilité d'y évaluer ultérieurement une assistance par exosquelette. Les cinq formations retenues sont : secours à personne, secours routier, feu de forêt, perfectionnements techniques de lances et échelle à crochets. Une analyse commune a été appliquée sur ces cinq formations, dans un premier temps une découpe hiérarchique de la tâche a été effectuée, avec plusieurs niveaux d'outils utilisés. Lors des formations les principales tâches ont été sélectionnées pour pouvoir utiliser les outils suivants : la démarche ED 6291 de l'INRS, mobilisée ici à titre exploratoire comme cadre structurant pour apprécier certaines dimensions de la charge physique de travail ; des bandeaux thoraciques couplés à des montres Garmin ont permis d'enregistrer la fréquence cardiaque lors des formations ; le questionnaire Borg (RPE) a été rempli lorsque l'organisation nous le permettait pour estimer l'effort perçu et pour comprendre la perception subjective de l'intensité de la tâche par l'individu ; de la même sorte, le questionnaire Nasa-TLX a été rempli par les opérateurs pour évaluer de façon multidimensionnelle la charge mentale subjective perçue lors d'une tâche. Pour aller plus loin dans l'analyse des contraintes et pour obtenir une analyse plus fine, les grandes tâches sélectionnées ont été découpées en sous-tâches pour pouvoir appliquer l'outil REBA (Rapid Entire Body Assessment) qui permet une analyse des postures contraignantes afin de repérer les risques de troubles musculosquelettiques. En synthèse, la méthodologie mobilise cinq outils complémentaires permettant une analyse multidimensionnelle des tâches étudiées. La mesure de la fréquence cardiaque fournit des indicateurs objectifs de la sollicitation physiologique, intégrant à la fois les contraintes physiques et cognitives. Les

questionnaires de Borg et le NASA-TLX apportent une évaluation subjective de l'effort perçu et de la charge mentale. La démarche ED-6291 a été utilisée comme cadre structurant pour caractériser certaines dimensions de la charge physique de travail, avec prudence compte tenu de son champ d'application initial. Enfin, la grille REBA offre une quantification objective des contraintes biomécaniques associées aux différentes sous-tâches identifiées.

## RESULTATS

Les recueils n'ont pas concerné l'ensemble des participants suivis sur les 8 formations, mais uniquement les opérateurs effectivement observés sur certaines tâches et lorsque les contraintes du terrain permettaient une passation standardisée. Ainsi, la fréquence cardiaque n'a été recueillie que sur 3 formations et les questionnaires subjectifs n'ont pu être administrés qu'à une partie des stagiaires (par exemple 11 Borg et 11 NASA-TLX en secours à la personne, 14 Borg en désincarcération, 6 Borg en perfectionnement technique de lance, 6 Borg et 7 NASA-TLX en échelle à crochets). Cette hétérogénéité s'explique par le caractère écologique et immersif du recueil. Les formations ne pouvaient pas être interrompues systématiquement, les temps disponibles entre les ateliers étaient parfois trop courts, et certaines situations n'étaient pas compatibles avec une autoévaluation immédiate dans de bonnes conditions.

Concernant l'outil ED-6291, l'ensemble des résultats se situe dans les niveaux élevés du barème proposé par l'INRS. La majorité des items évalués indique un besoin de remise en question de la situation de travail, avec des cotations classant les tâches dans les catégories « sous conditions » ou « inacceptable ». Ces niveaux traduisent la nécessité de repenser et d'adapter les conditions de travail afin de réduire les contraintes imposées aux opérateurs. Certains éléments de la démarche ont été adaptés à chaque formation, ce qui ne permet pas de comparer strictement les résultats entre eux. Dans ce travail, elle fournit surtout un repérage exploratoire des situations physiquement contraignantes.

La fréquence cardiaque (FC) n'a pas pu être enregistrée de manière homogène sur l'ensemble des formations. Selon les contraintes propres à chaque module, l'acquisition a été réalisée soit de façon continue sur toute la durée de la formation, soit de manière ciblée par tâche. Parmi les cinq formations retenues, seules trois ont pu faire l'objet d'une acquisition de la fréquence cardiaque, avec une moyenne de 2,33 acquisitions par formation. Cette hétérogénéité méthodologique limite les comparaisons directes entre formations et implique une interprétation prudente des données physiologiques. En termes de résultats, notamment en raison du faible échantillon, la fréquence cardiaque permet uniquement d'avoir une tendance ainsi qu'un ordre d'idée sur les contraintes cardiaques qui peuvent être impactées par plusieurs facteurs, qu'ils soient physiques ou cognitifs.

Parmi les cinq formations retenues, la formation « feu de forêt » et « secours routier » n'ont pas permis la passation du questionnaire de Borg. Pour les résultats du Borg CR10, nous nous sommes concentrés sur les scores au-dessus de 5/10 qui sont caractérisés comme difficiles. Pour la formation de secours à personne, les avant-bras et la région lombaire sont ressortis comme des zones à fortes contraintes physiques perçues. En ce qui concerne la formation perfectionnement aux techniques de lance, un score au-dessus de 5 a été enregistré pour les cuisses et la région lombaire. Pour la formation échelle à crochets, c'est principalement les épaules/bras et les avant bras qui ont montré un score supérieur à 5 avec respectivement 6,5 et 5,5.

Le questionnaire NASA-TLX a été administré conjointement au questionnaire de Borg. En conséquence, des données n'ont été recueillies que pour trois formations, correspondant aux mêmes modules que ceux pour lesquels le questionnaire de Borg a pu être complété. De la même façon, nous allons nous intéresser aux scores supérieurs à 50/100 qui correspondent à un haut score de charge de travail. Pour la formation secours à personne, l'exigence physique ainsi que la dimension de l'effort ressortent avec un score de 80/100 et 60/100. De plus, sur le score global, un cluster s'est créé autour de 60/100. Pour la formation perfectionnement aux techniques de lance, trois dimensions ressortent au-dessus de 50 : l'exigence physique avec 72/100, l'exigence temporelle avec 68/100, et la dimension de l'effort avec 62/100. Comme pour la formation précédente, un cluster s'est créé autour de 50. Pour finir, la formation échelle à crochets fait ressortir 5 dimensions supérieures à 50 : l'exigence mentale avec 62/100, l'exigence physique avec 78/100, l'exigence temporelle avec 58/100, la dimension de l'effort avec 78/100 et la dimension de la frustration avec 52/100. Aucun cluster ne s'est créé sur cette formation, mais les scores globaux sont tous au-dessus de 50.

L'outil REBA a été appliqué sur les sous-tâches, et pour chaque formation seulement les sous-tâches ayant obtenu un score supérieur à 8 ont été retenues. Un score supérieur à 8 correspond à un score « haut risque ». Pour le secours à personne, 10 sous-tâches sont ressorties comme à haut risque : montée d'escalier à 4, posé de brancard à 4, passage d'obstacle (fenêtre), passage d'obstacle barrière, pont classique (technique de relevage), pont néerlandais à 3, montée de chaise dans l'escalier en colimaçon, montée de chaise dans l'escalier, descente d'escalier à 4, levé de brancard à 4. Ensuite 4 sous-tâches ont obtenu un score supérieur à 8 pour la formation secours routier : le posé de matériel, la manipulation d'outils de découpe en position haute (au-dessus des épaules), la manipulation d'outils de découpe en position basse (au niveau du bassin), et pour la finir la manipulation des outils hors découpe du véhicule. Pour la formation feu de forêt on observe une sous-tâche au-dessus de 8, c'est la manipulation de la claie de portage au camion (i.e. sortir et ranger la claie de portage). Les deux sous-tâches analysées pour la formation perfectionnement aux techniques de lances ont obtenu un score supérieur à 10 : évolution devant le feu et le passage de porte. Pour finir, on retrouve 4 sous-tâches considérées à haut risque pour la formation échelle à crochets : transition montée sol-échelle, transition montée échelle/balcon, transition descente balcon/échelle, transition descente échelle/sol.

## **DISCUSSION**

Les résultats vont être discutés formation par formation avec pour objectif de caractériser les contraintes liées à la tâche.

La formation de secours à personne a permis de faire ressortir certaines sous-tâches en termes de contraintes posturales. En sachant que le secours à personne représente environ 80% des missions des SP, et qu'on retrouve 10/17 des sous-tâches en condition haut risque il apparaît pertinent de retenir le brancardage pour la suite du projet (« Les statistiques des services d'incendie et de secours », s. d.). De plus les scores de Borg ont mis en évidence une sollicitation accrue au niveau des lombaires ainsi que des avant-bras. Puisque c'était une formation initiale, les SP découvraient les gestes et les distances parcourues étaient exacerbées pour réaliser un maximum de manipulations. De ce fait d'un point de vue musculaire les avant-bras ont été fortement sollicités, ce qui peut expliquer ce score Borg. Avec les différents résultats, il est possible de dire que cette formation était contraignante

d'un point de vue physique notamment au niveau lombaire, mais aussi cognitif avec une forte demande d'exécution d'ordre en fonction de la position de l'opérateur.

La formation secours routier a fait ressortir 4/10 des sous-tâches à haut risque, avec principalement la manipulation d'outil que ce soit pour la découpe mais aussi pendant la manipulation hors découpe. Cependant, cette sous-tâche (découpe) ne sera pas retenue dans la suite de l'étude, car elle a déjà fait l'objet d'une première évaluation avec un exosquelette passif en 2023 (Maurice et al., 2023). Néanmoins lors de la désincarcération, il a une partie d'extraction de la victime où l'on retrouve du brancardage, il est donc possible de faire un lien entre la formation de secours à personne et cette sous-tâche.

Pour la formation feu de forêt, la manipulation de la claie de portage au camion s'est retrouvée à haut risque ce qui montre un besoin d'adapter cette sous-tâche. Une solution pourrait être d'adapter le matériel ou encore la logistique autour de cet outil.

La formation perfectionnement aux techniques de lance est d'un point de vue environnemental déjà intense, avec une évolution dans un milieu encombré souvent enfumé, avec des déplacements à genoux et une pression temporelle extrême. Dans ce contexte, il paraît complexe d'implémenter une assistance extérieure qui risquerait d'ajouter une contrainte supplémentaire (Lemonnier et al., 2023).

La tâche de montée à l'échelle à crochets ne permettra pas de tester une assistance et ce d'un point de vue sécurité. Les principales sous-tâches considérées à haut risque sont principalement des passages transitoires et brefs. De plus c'est une mission qu'ils n'exécutent que rarement.

Pour conclure cette première étude présentent certains biais, notamment l'incapacité à contrôler le nombre de postures à analyser ainsi que l'identification des opérateurs. De ce fait il est possible que pour une même sous-tâche, on retrouve seulement 3 postures analysées avec potentiellement le même sujet. Dans le cadre des formations observées, cette première étude a mis en lumière le brancardage comme une tâche potentiellement très contraignante sur les plans physique et cognitif. Sachant que cette mission représente une part majeure des interventions, il apparaît pertinent de retenir cette tâche pour la suite du projet. Au regard des résultats du Borg et du REBA, la région lombaire semble constituer la zone corporelle la plus contrainte. La suite de l'étude consistera donc à évaluer un exosquelette actif sur un parcours opérationnel construit à partir des sous-tâches identifiées lors de cette première phase, le brancardage apparaissant comme la situation la plus pertinente pour tester cette assistance. Le protocole étant en cours d'élaboration, il pourra être discuté à l'oral lors des Doctoriales EPIQUE 2026.

#### **REMERCIEMENT**

Ce travail a bénéficié du soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du projet EX-aequO (ANR-24-CE10-230). Les auteurs tiennent également à remercier le Service Départemental d'Incendie et de Secours de Meurthe-et-Moselle (SDIS 54) pour sa collaboration active, son appui logistique et la mise à disposition des locaux nécessaires à la réalisation des expérimentations. Leur implication a été déterminante pour le bon déroulement de cette étude.

## BIBLIOGRAPHIE

- de Looze, M. P., Bosch, Tim, Krause, Frank, Stadler, Konrad S., & O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59(5), 671-681. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1081988>
- Frost, D. M., Beach, T. a. C., Crosby, I., & McGill, S. M. (2015). Firefighter injuries are not just a fireground problem. *Work (Reading, Mass.)*, 52(4), 835-842. <https://doi.org/10.3233/WOR-152111>
- Genaidy, A. M., Al-Shedi, A. A., & Karwowski, W. (1994). Postural stress analysis in industry. *Applied Ergonomics*, 25(2), 77-87. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(94\)90068-x](https://doi.org/10.1016/0003-6870(94)90068-x)
- Lavender, S. A., Conrad, K. M., Reichelt, P. A., Johnson, P. W., & T. Meyer, F. (2000). Biomechanical analyses of paramedics simulating frequently performed strenuous work tasks. *Applied Ergonomics*, 31(2), 167-177. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00040-X)
- Lemonnier, S., Cavagnac, L., Kohili, N., Bouillet, K., Maurice, P., & Mornieux, G. (2023, juillet). Sapeurs-pompiers et désincarcération : Effet du port d'un exosquelette sur la charge cognitive et l'acceptation. *EPIQUE 2023 - 12ème colloque de Psychologie Ergonomique*. <https://hal.science/hal-04115097>
- Les statistiques des services d'incendie et de secours. (s. d.). *Ressources du pompier*. Consulté 6 juin 2025, à l'adresse <https://www.ressourcesdupompier.com/les-statistiques-des-services-dincendie-et-de-secours/>
- Maurice, P., Lemonnier, S., Kohili, N., Laura, C., & Mornieux, G. (2023, octobre). Biomechanical effects of using a passive upper-limb exoskeleton to assist firefighters during vehicle extrication maneuver. *48ème congrès de la Société de Biomécanique*. <https://hal.science/hal-04117000>
- Méthode d'analyse de la charge physique de travail—Brochure—INRS*. (s. d.). Consulté 29 avril 2026, à l'adresse <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206291>
- Nazari, G., MacDermid, J. C., Sinden, K. E., & Overend, T. J. (2019). Comparison of Canadian firefighters and healthy controls based on submaximal fitness testing and strength considering age and gender. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. (world). <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10803548.2017.1372086>
- Nazari, G., Osifeso, T. A., & MacDermid, J. C. (2020). Distribution of Number, Location of Pain and Comorbidities, and Determinants of Work Limitations among Firefighters. *Rehabilitation Research and Practice*, 2020(1), 1942513. <https://doi.org/10.1155/2020/1942513>
- Osipov, A. (2019). Fire exoskeleton to facilitate the work of the fireman. *E3S Web of Conferences*, 126, 00015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600015>
- Prévost, J., & Seaugrand, S. (s. d.). *Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec*.
- Qu, Y., Wang, X., Tang, X., Liu, X., Hao, Y., Zhang, X., Liu, H., & Cheng, X. (2025). A Review of Wearable Back-Support Exoskeletons for Preventing Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Biomimetics*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/biomimetics10050337>

---

# Doctoriales ARPEGE 2026 :

## Comprendre les représentations des véhicules autonomes pour anticiper les adaptations comportementales et concevoir des actions de sécurité routière en trafic mixte

**MOUTON Oriane, doctorante 3<sup>ème</sup> année**  
INU Champollion, Place de Verdun, 81000 Albi  
[oriane.mouton@univ-jfc.fr](mailto:oriane.mouton@univ-jfc.fr)  
3<sup>ème</sup> année de thèse

**CEGARRA Julien, PU**  
INU Champollion, Place de Verdun, 81000 Albi  
[julien.cegarr@univ-jfc.fr](mailto:julien.cegarr@univ-jfc.fr)

**NAVARRO Jordan, PU**  
Université Lyon 2, 5 avenue Pierre Mendès-France, 69500 Bron  
[jordan.navarro@univ-lyon2.fr](mailto:jordan.navarro@univ-lyon2.fr)

---

### RÉSUMÉ

---

L'introduction progressive des véhicules autonomes (VA) conduit à une période transitoire de trafic mixte, dans laquelle coexistent VA et véhicules conventionnels (VC). Si de nombreux travaux se sont intéressés à l'acceptabilité, à la confiance et à la reprise de contrôle en conduite automatisée, les adaptations comportementales des conducteurs de VC en présence de VA demeurent encore peu explorées. Cette thèse, inscrite en psychologie ergonomique, vise à comprendre comment les représentations des VA structurent et orientent les comportements de conduite, afin d'anticiper leurs effets sur la sécurité routière et de concevoir des dispositifs de prévention adaptés. En mobilisant la théorie des représentations sociales et une méthodologie mixte (questionnaires, tests implicites, simulation de conduite), les travaux en cours proposent une approche prospective de la sécurité routière en contexte de trafic mixte.

---

### MOTS-CLÉS

Ergonomie prospective ; Interaction Humain-Technologie ; Représentations ; Véhicules autonomes ; Sécurité routière.

---

### CONTEXTE

La thèse s'inscrit en psychologie ergonomique et Interaction Humain-Technologie, en mobilisant une approche centrée sur les déterminants cognitifs, sociaux et représentationnels de l'activité de conduite. L'introduction des véhicules autonomes (VA) transforme les systèmes sociotechniques de transport en modifiant artefacts, règles d'interaction et activités humaines. Dans une perspective d'ergonomie prospective, il s'agit d'anticiper les effets de ces transformations en étudiant comment les usagers interprètent, comprennent et ajustent leurs comportements face à ces technologies. Les représentations jouent ici un rôle central,

en servant de médiateur entre perception et action et en orientant l'interprétation des situations. Leur étude permet de comprendre les adaptations comportementales, notamment dans les contextes de cohabitation avec des VA, où des comportements à risque peuvent apparaître, liés à un manque d'expérience, à des attentes erronées ou à des interprétations sociales des véhicules (Cegarra et al., 2025; Petrović et al., 2020; Soni et al., 2022). Cette approche complète les travaux centrés sur la confiance ou l'acceptabilité, en considérant les représentations des VA comme des déterminants amont des comportements et comme des leviers potentiels pour la prévention en sécurité routière.

## **CADRAGE THÉORIQUE**

### **Préconceptions des VA**

Plusieurs travaux ont examiné les opinions et préconceptions du public à l'égard des VA, révélant la diversité des enjeux perçus par les usagers. Kyriakidis et al. (2015) montrent que ces opinions se concentrent sur la sécurité, les questions juridiques (notamment la responsabilité en cas d'accident) et la cybersécurité, au-delà des seules dimensions techniques, traduisant des représentations sociales intégrant des enjeux sociaux, éthiques et légaux. Ah-tchine et de Vries (2019) identifient plusieurs regroupements de préconceptions, avec la sécurité comme dimension centrale, mais aussi des représentations concernant la définition, les fonctions, l'intelligence perçue du VA et le rôle du conducteur et des systèmes d'aide à la conduite. Enfin, les représentations et intentions d'usage varient selon le contexte socioculturel : la familiarité avec les VA favorise l'usage (Kaye et al., 2020), et des différences nationales, observées entre la France, l'Australie et la Suède, soulignent l'importance de considérer le contexte local dans l'étude des interactions humain-VA.

### **Représentations cognitives et représentations sociales**

Le concept de « représentation » en sciences cognitives recouvre des notions telles que modèles mentaux, schémas ou images mentales (Richardson & Ball, 2009), et peut désigner des constructions transitoires, produites en temps réel, ou des connaissances stabilisées en mémoire à long terme (Cordier et al., 1990). Elles constituent un médiateur entre perception et action, impliqué à la fois dans la compréhension et la construction des connaissances. Dans le champ de la cognition sociale, ces processus individuels sont aussi déterminés avec les représentations sociales, qui sont collectives mais construites à partir d'éléments cognitifs individuels tels que catégories, stéréotypes ou attributions causales (Rateau & Moliner, 2009). Les représentations sociales permettent ainsi de saisir comment des connaissances et croyances partagées orientent l'interprétation et l'action (Abric, 2001; Moscovici, 1961). Cette perspective met en évidence les déterminants sociocognitifs de la prise de décision en interaction dynamique, où normes et croyances partagées orientent l'activité des acteurs (Chauvin et al., 2007). et offre un cadre pertinent pour analyser les perceptions et attentes des futurs utilisateurs dans la préconception des VA.

### **Adaptations comportementales**

Les recherches en ergonomie cognitive montrent que l'activité de conduite est influencée par des états d'inattention, révélant l'articulation entre processus cognitifs, représentations et contrôle de l'action en situation dynamique (Berthié et al., 2015). Dans cette continuité, les travaux en ergonomie et en psychologie du trafic montrent que l'introduction des VA en contexte de trafic mixte entraîne des adaptations comportementales chez les conducteurs

humains, notamment dans les stratégies de suivi, d'interaction et de prise de décision. Soni et al. (2022) mettent en évidence que les conducteurs humains ajustent leurs distances inter-véhiculaires, leurs vitesses et leurs manœuvres lorsqu'ils interagissent avec des VA, traduisant une anticipation de comportements plus conservateurs et prévisibles de ces systèmes. Dans une revue récente, Liu (2025) souligne que ces adaptations s'inscrivent dans des dynamiques d'interaction sociale, où les comportements humains sont influencés par la manière dont les VA sont perçus en termes d'intentions, de compétences et de règles implicites de conduite. De manière complémentaire, Ma et Zhang (2024) montrent que les styles de conduite adoptés par les conducteurs humains varient selon le type d'interaction avec les VA, suggérant que ces adaptations ne relèvent pas uniquement de contraintes situationnelles, mais reposent sur des cadres cognitifs et représentationnels. Ces travaux soulignent ainsi l'importance d'analyser les adaptations comportementales dans une perspective ergonomique intégrant les représentations des VA comme déterminants de l'activité en interaction.

## ÉTUDE 1 : REPRÉSENTATION A PRIORI DU VA

### Phase A : de méthodes directes, associations libres et entretiens...

Une première étude par questionnaire d'associations libres et hiérarchisées a été menée auprès de 373 participants adultes répartis en deux conditions (VA avec 375 évocations et véhicule conventionnel, VC avec 265 évocations). Cette étude visait à identifier le contenu, la valence et la structure initiale des représentations sociales associées à ces deux objets. Les représentations sociales sont conçues comme des systèmes organisés comportant un noyau central, stable et générateur de sens, et un système périphérique plus flexible et sensible au contexte (Abric, 2001). Des analyses lexicales et prototypiques ont été réalisées (IRaMuTeQ). Les résultats montrent que la représentation des VA n'est pas neutre, mais polarisée, intégrant à la fois des éléments positifs (sécurité, liberté, confort...) et négatifs (danger, risque, accident...). Une classification hiérarchique descendante nous permet d'identifier 3 classes thématiques de la représentation du VA : des caractéristiques générales, des bénéfiques, et des risques et conséquences. L'analyse prototypique suggère l'existence d'un noyau central structuré autour d'éléments tels que la sécurité, la liberté ou le caractère robotisé du véhicule.

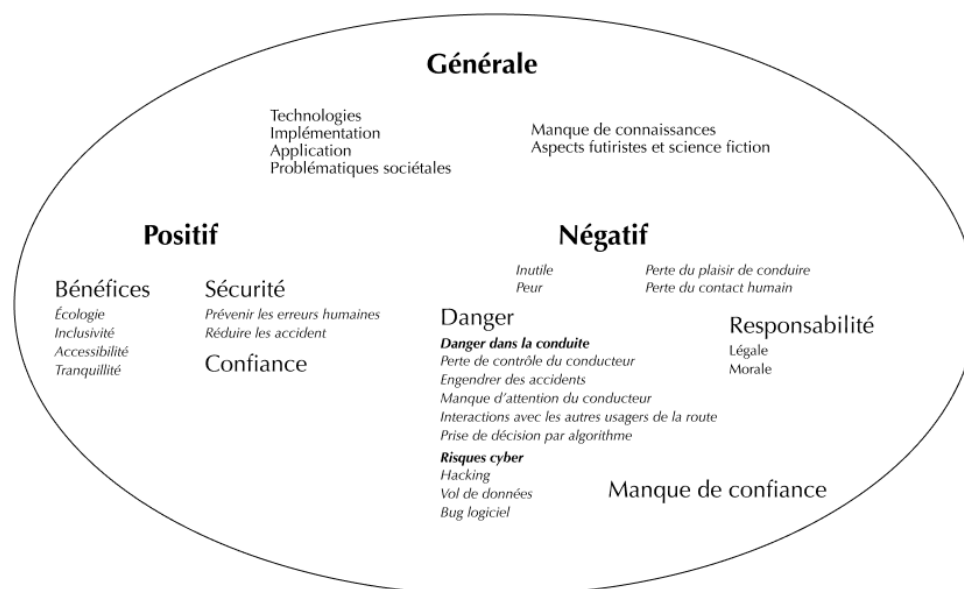


Figure 1 : Modèle de la représentation du VA

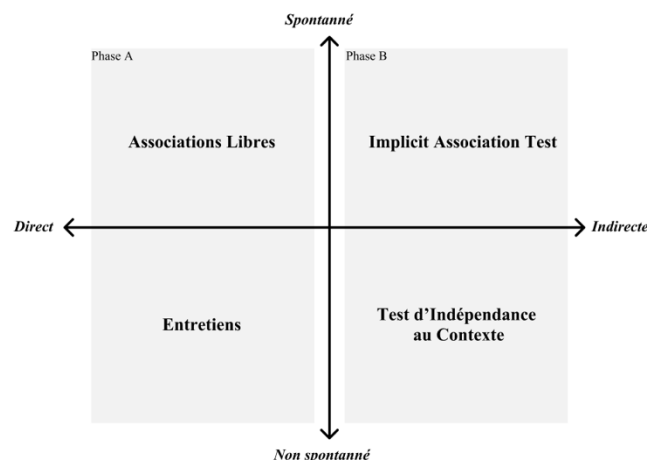
Des oppositions sont révélées avec principalement danger et sécurité. Plusieurs éléments s'avèrent être communs aux deux représentations (autonomie, danger, pratique...). 18 entretiens non directifs ont été conduits afin de contextualiser les premiers résultats quantitatifs et d'enrichir leur interprétation. L'analyse de contenu thématique (NVivo), dont les principales thématiques sont présentées sur la Figure 1, met en évidence un manque de connaissances générales concernant les VA, ainsi que des préoccupations récurrentes relatives à la responsabilité en cas d'accident, à la perte de contrôle et aux risques liés à la cybersécurité. Si une opposition entre sécurité et danger demeure, celle-ci apparaît nuancée à la fois entre les participants et au sein d'un même discours. Les entretiens montrent en effet que les jugements varient selon le contexte d'usage envisagé du VA, notamment selon qu'il s'agisse de la conduite sur autoroute, en centre-ville ou en interaction avec d'autres usagers.

### Phase B : ...vers des méthodes indirectes, test d'indépendance au contexte et IAT

La seconde phase de l'étude 1 mobilise des méthodes indirectes afin de compléter et de consolider l'analyse des représentations sociales des VA, dans une logique de triangulation méthodologique visant à appréhender leur contenu, leur structure et leur stabilité contextuelle (Abric, 2001; Caillaud & Flick, 2016). Le Test d'Indépendance au Contexte (TIC) permet de valider la centralité de certains éléments (Lo Monaco et al., 2008), tels que « automatique », « robot » et « sans conducteur », tandis que d'autres demeurent périphériques, interrogeant la proximité représentationnelle entre VA et VC. En complément, un Implicit Association Test (IAT) est utilisé pour explorer les associations spécifiques aux VA. Conçu comme une mesure indirecte des représentations (Greenwald et al., 2009), l'IAT met en évidence une catégorisation plus rapide des éléments du noyau central, suggérant leur stabilité, ainsi qu'une différenciation plus marquée entre VA et VC. Les temps de réponse plus rapides pour les items liés aux VA suggèrent par ailleurs une représentation plus frugale comparativement à celle des VC. L'articulation du TIC et de l'IAT permet ainsi de confirmer l'existence d'un noyau central spécifique aux VA et de distinguer leur représentation de celle des VC, en mobilisant des méthodes complémentaires aux approches directes.

### Matrice de la représentation

L'intégration conjointe des associations libres, des entretiens, du TIC et de l'IAT permet de formaliser une matrice méthodologique (Figure 2) visant à couvrir l'ensemble des dimensions des représentations sociales du VA. Cette matrice articule des mesures directes et indirectes, ainsi que des modalités de recueil spontanées ou non spontanées (temps de réponse), offrant ainsi une vue d'ensemble cohérente et complémentaire du phénomène étudié. Dans cette



perspective, cette combinaison de méthodes permet d'accéder à une vision plus globale des représentations du VA. Elle met en évidence une représentation encore en construction, structurée autour d'un noyau technologique stable, mais dont les implications fonctionnelles et contextuelles restent fortement dépendantes des situations d'usage envisagées. Cette seconde phase de l'étude 1 contribue ainsi à renforcer la qualité des résultats obtenus précédemment, tout en préparant l'articulation avec des méthodes davantage centrées sur les comportements en situation, développées dans la suite du travail doctoral.

*Figure 2 : Matrice des méthodes Étude 1*

Les résultats de l'étude 1 mettent en évidence que les représentations sociales des VA sont à la fois ambivalentes, peu stabilisées et fortement dépendantes du contexte. Si les associations libres ont permis d'identifier le contenu et la structuration de ces représentations, les entretiens ont montré que leurs contradictions apparentes ne relèvent pas uniquement de profils interindividuels distincts, mais également de variations intra-individuelles liées aux situations envisagées (type d'infrastructure, présence d'usagers vulnérables, forme du VA). Cette première phase de l'étude est exclusivement déclarative pour appréhender les effets des représentations sur les comportements. Les méthodes indirectes mobilisées dans la phase B permettent d'accéder à un niveau méta de la représentation, mais ne rendent pas compte de la manière dont ces représentations se traduisent concrètement dans l'action. Ces constats conduisent à prolonger l'analyse vers des situations plus écologiquement valides, permettant d'observer les comportements effectifs et leurs ajustements en contexte. L'étude 2 vise à articuler les représentations avec des comportements de conduite observés en simulation, afin d'examiner comment ces représentations orientent les pratiques en situation de trafic mixte et d'identifier des leviers opérationnels pour la prévention en sécurité routière.

## **ÉTUDE 2 : ÉVOLUTION DES REPRÉSENTATIONS DANS L'ACTION**

### **Phase A**

Cette phase examine l'actualisation des représentations des VA en situation d'action, lors d'une première expérience de conduite simulée (Figure 3), et les compare à celles mobilisées dans une condition de conduite conventionnelle. L'objectif est d'analyser la manière dont les représentations identifiées a priori (Étude 1) se manifestent et évoluent lorsqu'elles sont confrontées à des exigences dynamiques de conduite, dans l'action. Vingt-six participants ont pris part à l'étude selon un plan intra-sujets contrebalancé (conditions VA et VC). La simulation comprend plusieurs scénarios successifs (suivi, intersection, dépassement, changement de voie et insertion), permettant d'explorer différents niveaux d'interaction avec l'environnement routier. Des questionnaires sont administrés avant et après la simulation afin de saisir les dimensions représentationnelles, attitudeles et subjectives de l'expérience (Driver Behavior Questionnaire, échelles des résultats de l'étude 1, Pedestrian Receptivity Questionnaire among Fully autonomous vehicle adapté, Smart Tools Proneness-Questionnaire, et mesure de la confiance). En complément, un entretien de débriefing post-



*Figure 3 : Simulateur conditions VC et VA*

simulation permet d'expliciter et de contextualiser les comportements observés et les ressentis des participants, tandis qu'un entretien exploratoire en amont documente les représentations initiales. Ce dispositif vise à articuler représentations déclarées, mesures subjectives et expérience vécue en situation de conduite simulée.

## Phase B

Dans une seconde phase, l'étude adopte un dispositif longitudinal. Les participants reviennent pour deux sessions supplémentaires, dont l'une inclut une campagne d'information et de prévention construite à partir des représentations identifiées lors de l'étude 1, tandis qu'un groupe contrôle ne reçoit aucune intervention. Une troisième session, organisée trois à cinq semaines plus tard, permet d'évaluer la persistance des effets. Vingt participants ont complété l'ensemble du protocole. Les données de l'étude 2 sont en cours de traitement et les résultats seront présentés lors des doctoriales.

## CONCLUSION

Cette thèse mobilise la théorie des représentations sociales pour analyser les déterminants psychosociaux de l'interaction avec les VA, dans une perspective ergonomique et centrée sur l'activité. En combinant méthodes directes et indirectes, les travaux montrent que les représentations des VA en France sont encore peu stabilisées, ambivalentes et fortement dépendantes du contexte d'usage, en raison notamment de l'absence d'expérience directe. L'articulation entre analyses a priori (étude 1), confrontation à l'action en simulateur et évaluation d'une démarche de prévention fondée sur les représentations (étude 2) met en évidence le rôle central des représentations comme guide de l'action. Ces résultats soulignent l'intérêt d'intégrer les représentations et le contexte d'usage dans la conception de dispositifs d'accompagnement, de prévention et de déploiement des systèmes de transport automatisés, tant pour la recherche en ergonomie que pour les enjeux opérationnels de sécurité routière. Ils nous permettent également de poser des premiers éléments de réflexion à une vision plus unifiée du concept de représentations, intégrant les apports de la psychologie sociale, cognitive et ergonomique.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abric, J.-C. (2001). A structural approach to social representations. In *Representations of the social: Bridging theoretical traditions* (pp. 42–47). Blackwell Publishing.
- Ah-tchine, É., & de Vries, E. (2019). Étude des préconceptions de la voiture autonome en vue d'une éducation à la sécurité routière appropriée. *Éducation et didactique*, (13–3), Article 13–3. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.5162>
- Berthié, G., Lemerrier, C., Paubel, P.-V., Cour, M., Fort, A., Galéra, C., Lagarde, E., Gabaude, C., & Maury, B. (2015). The restless mind while driving: Drivers' thoughts behind the wheel. *Accident Analysis & Prevention*, 76, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.01.005>
- Caillaud, S., & Flick, U. (2016). Triangulation méthodologique, ou comment penser son plan de recherche. In *Les représentations sociales. Théories, méthodes et applications*. (pp. 227–237). DeBoeck.
- Cegarra, J., Unrein, H., Andre, J.-M., Mouton, O., & Navarro, J. (2025). Driving among autonomous vehicles: The effect of initial trust and driving style on driving behaviors. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 112, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.03.023>

- Chauvin, C., Letirand, F., & Delhomme, P. (2007). Corrélats Sociocognitifs De La Prise De Décision En Situation D'interaction Dynamique. *Le Travail Humain*, 70(1), 33–65.
- Cordier, F., Crépault, J., Denhière, G., Hoc, J.-M., George, C., & Richard, J.-F. (1990). Connaissances et représentations. In *Traité de psychologie cognitive 2: Le traitement de l'information symbolique* (Dunod).
- Greenwald, A. G., Poehlman, T. A., Uhlmann, E. L., & Banaji, M. R. (2009). Understanding and Using the Implicit Association Test: III. Meta-Analysis of Predictive Validity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 97(1), 17–41. <http://dx.doi.org/10.1037/a0015575.supp>
- Kaye, S.-A., Lewis, I., Forward, S., & Delhomme, P. (2020). A priori acceptance of highly automated cars in Australia, France, and Sweden: A theoretically-informed investigation guided by the TPB and UTAUT. *Accident Analysis & Prevention*, 137, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105441>
- Kyriakidis, M., Happee, R., & de Winter, J. C. F. (2015). Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.014>
- Liu, P. (2025). Social interactions between automated vehicles and human drivers: A narrative review. *Ergonomics*, 68(11), 1761–1780. <https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2435038>
- Lo Monaco, G., Lheureux, F., & Halimi-Falkowicz, S. (2008). Test d'indépendance au contexte (TIC) et structure des représentations sociales. *Revue Suisse de Psychologie*, 67(2), 119–123. <https://doi.org/10.1024/1421-0185.67.2.119>
- Ma, Z., & Zhang, Y. (2024). Driver-Automated Vehicle Interaction in Mixed Traffic: Types of Interaction and Drivers' Driving Styles. *Human Factors*, 66(2), 544–561. <https://doi.org/10.1177/00187208221088358>
- Moscovici, S. (1961). La représentation sociale de la psychanalyse. *Bulletin de psychologie*, 14(194), 807–810. <https://doi.org/10.3406/bupsy.1961.8539>
- 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, Transport Infrastructure and Systems in a Changing World. Towards a More Sustainable, Reliable and Smarter Mobility. TIS Roma 2019 Conference Proceedings*, 45, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.003>
- Rateau, P., & Moliner, P. (2009). *Représentations sociales et processus sociocognitifs*. Presses Universitaires de Rennes. <https://hal.science/hal-02149011>
- Richardson, M., & Ball, L. J. (2009). Internal representations, external representations and ergonomics: Towards a theoretical integration. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10(4), 335–376. <https://doi.org/10.1080/14639220802368872>
- Soni, S., Reddy, N., Tsapi, A., van Arem, B., & Farah, H. (2022). Behavioral adaptations of human drivers interacting with automated vehicles. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 86, 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.02.002>

---

# Comprendre et anticiper le comportement des véhicules autonomes : effets de la communication implicite et explicite sur le comportement piéton

Valentin STRAHM

[valentin.strahm@univ-tlse2.fr](mailto:valentin.strahm@univ-tlse2.fr)

Université de Toulouse, INU Champollion, SCoTE, Albi, France Place de Verdun 81012 Albi  
2023

Julien Cegarra

[julien.cegarra@univ-jfc.fr](mailto:julien.cegarra@univ-jfc.fr)

Université de Toulouse, INU Champollion, SCoTE, Albi, France Place de Verdun 81012 Albi

---

## RÉSUMÉ

---

Les véhicules autonomes (VA) promettent des gains en sécurité, en fluidité du trafic et en impact environnemental grâce à une conduite coordonnée et prudente. Toutefois, l'absence de conducteur humain modifie profondément les dynamiques interactionnelles avec les usagers vulnérables. Cette thèse examine l'interaction entre véhicules autonomes et piétons, en s'intéressant aux modalités de communication implicites (mouvement du véhicule) et explicites (eHMI). L'objectif est de comprendre comment ces informations influencent la prise de décision et le comportement des piétons en situation écologique. Trois études complémentaires sont menées : une observation systématique d'interactions réelles avec une navette autonome, une expérimentation manipulant vitesse, distance, environnement social et messages eHMI, et une étude en simulateur évaluant l'interaction entre profils de freinage et eHMI en situation complexe. Les résultats visent à identifier des stratégies de communication favorisant des comportements sûrs, interprétables et adaptés à des contextes routiers complexes.

---

## MOTS-CLÉS

Interaction véhicule autonome – communication – eHMI – situation complexes – prise de décision

---

## INTRODUCTION

Les véhicules autonomes (VA) sont définis par la Society of Automotive Engineering (SAE) selon six niveaux d'automatisation, allant de 0 à 5. Destinés à être connectés entre eux, ces véhicules présentent des avantages en matière de sécurité et de gestion du trafic, notamment grâce à un style de conduite supposément plus prudent et à la coordination inter-véhicules. Cette coordination permet également de réduire l'impact environnemental du trafic par des trajectoires plus stables et une moindre consommation énergétique (Pan et al., 2024). Toutefois, l'interaction entre VA et usagers humains soulève des difficultés, liées à des styles de conduite peu compréhensibles pouvant engendrer des comportements inadaptés (Schwall

et al., 2020) et à une diminution de la confiance due à l'absence de conducteur (Dey et al., 2022). Ces enjeux relèvent de la dimension interactionnelle de la conduite (Färber, 2016). Cette thèse vise à mieux comprendre les modalités de communication (implicite, explicite) en situation écologique afin de favoriser des comportements adaptés et sûrs.

## CADRE THEORIQUE

### **Modèles de décision et de déplacement des usagers de la route**

Les usagers de la route évoluent dans un espace partagé tout en poursuivant des objectifs distincts, ce qui implique une prise en compte constante des autres usagers susceptibles d'occuper le même espace au même moment. La littérature décrit ainsi la prise de décision des piétons selon un enchaînement en trois étapes : perception, décision, puis initiation et mouvement. De nombreux travaux ont identifié les paramètres influençant chacune de ces étapes.

Lors de la perception, les recherches s'appuient fréquemment sur la théorie visuelle de Gibson (2014), selon laquelle un objet approchant occupe une portion croissante du champ visuel. Cette dynamique est formalisée par la mesure de l'angle visuel  $\theta$ , correspondant à l'angle sous-tendu par le véhicule dans le champ visuel du piéton.  $\theta$  est considéré comme un indice précoce permettant d'anticiper un croisement de trajectoire (Tian et al., 2023). Lorsque les distances sont importantes, les piétons semblent s'appuyer sur des heuristiques visuelles simples telles que  $\theta$  pour estimer le risque de collision. Ce n'est qu'en présence d'un risque perçu qu'ils mobilisent des informations supplémentaires, notamment la capacité du véhicule à s'arrêter (Tian et al., 2023).

La phase de décision est souvent abordée par le concept de *gap acceptance*, défini comme l'intervalle temporel jugé suffisant par le piéton pour traverser en sécurité (Pawar & Patil, 2015). Ce seuil varie en fonction de facteurs tels que le temps d'attente ou la vitesse du véhicule (Theofilatos et al., 2021). Certains modèles décrivent la décision comme une réponse directe à des indices visuels (Tian et al., 2023), tandis que d'autres s'inscrivent dans une logique d'accumulation de preuves jusqu'à l'atteinte d'un seuil décisionnel (Pekkanen et al., 2022).

Enfin, l'initiation et le mouvement sont fréquemment étudiés via le *crossing initiation time* (CIT), qui correspond au temps nécessaire au piéton pour initier la traversée lorsqu'elle devient possible (Faas et al., 2020). Un CIT faible reflète une décision plus rapide, mais des distributions bipolaires ont été observées, certains piétons traversant très tôt et d'autres attendant un arrêt quasi complet du véhicule (Pekkanen et al., 2022), y compris en présence de distracteurs.

Parallèlement, une partie de la littérature analyse le comportement du piéton à travers le modèle de la conscience de situation de Endsley (2021), centré sur le traitement de l'information en contexte dynamique. Initialement généraliste, ce modèle a été appliqué aux usagers de la route (Cœugnet et al., 2019). Contrairement aux modèles perception-action, la prise de décision y repose sur trois niveaux successifs.

Le premier niveau correspond à la perception, définie comme la détection des informations visuelles et auditives pertinentes de l'environnement routier, incluant la présence des véhicules, leur position, leur vitesse apparente, leur direction et les caractéristiques de l'infrastructure. Le second niveau est celui de la compréhension, qui implique l'intégration et l'interprétation de ces informations afin d'en évaluer la signification pour la traversée. Le

piéton cherche alors à déterminer si un véhicule constitue une contrainte ou une opportunité, par exemple en interprétant une décélération comme une intention de céder le passage. Le troisième niveau concerne la projection, c'est-à-dire l'anticipation de l'évolution future de la scène, notamment la probabilité que le véhicule atteigne le point de traversée avant le piéton ou s'arrête à temps.

Ce modèle est complémentaire des approches précédentes. S'il est moins adapté aux situations claires, il apparaît particulièrement pertinent pour l'étude des situations ambiguës, en intégrant une logique dynamique et rétroactive proche des modèles d'accumulation de preuves, où la décision de traverser n'intervient qu'une fois un niveau d'information jugé suffisant.

### **Interaction avec le véhicule autonome et communication**

Markkula et al. (2020) définissent l'interaction routière comme une situation dans laquelle le comportement d'au moins deux usagers est influencé par la possibilité qu'ils occupent le même espace au même moment dans un futur proche. La communication, y compris involontaire (que l'on nommera « implicite »), constitue une composante essentielle de ces interactions et permet de réguler le trafic afin d'en améliorer la fluidité et la sécurité (Ezzati Amini et al., 2019). Bien que le code de la route encadre les priorités et interdictions, les usagers mobilisent également des règles informelles pour se coordonner, en particulier dans des situations ambiguës nécessitant des initiatives individuelles (Markkula et al., 2020). Dans ce contexte, les piétons utilisent notamment le contact visuel afin de s'assurer qu'ils ont été perçus et de traverser en sécurité (Onkhar et al., 2022).

L'interaction repose sur différents phénomènes de communication, dont l'anticipation du comportement d'autrui et la formation de schémas, permettant d'activer des représentations liées aux caractéristiques des usagers ou des véhicules (Färber, 2016). Cette anticipation est facilitée par des formes de communication explicites ou implicites (Dey et al., 2017). La communication explicite vise intentionnellement à transmettre un message clair, tandis que la communication implicite repose sur des comportements informatifs tels que la décélération ou le positionnement (Beggiato et al., 2017). Toutefois, la communication explicite demeure peu utilisée, les usagers privilégiant majoritairement l'expression implicite de leurs intentions (Lee et al., 2021).

L'absence de conducteur dans les véhicules autonomes modifie profondément les dynamiques de communication routière et soulève des défis importants (Dey et al., 2022). La disparition d'interactions traditionnelles, telles que le contact visuel, affecte notamment le sentiment de sécurité des piétons (Onkhar et al., 2022). Par ailleurs, le style de conduite plus prudent des véhicules autonomes peut générer de la confusion chez les autres usagers et, dans certains cas, conduire à des situations accidentogènes (Schwall et al., 2020).

Pour compenser ce déficit de communication, des solutions techniques appelées *external Human-Machine Interfaces* (eHMI) ont été développées. Ces dispositifs, variés dans leurs formes, emplacements et messages, visent à transmettre des informations aux usagers extérieurs (Dey et al., 2020). Plusieurs études ont montré que les eHMI peuvent améliorer la communication et influencer positivement le comportement des piétons, notamment en favorisant une initiation plus précoce de la traversée (Dey et al., 2020). Toutefois, leur efficacité dépend des modalités utilisées et peut également induire une surconfiance, entraînant une négligence des indices dynamiques du véhicule et des comportements

potentiellement dangereux (Kaleefathullah et al., 2022). Les eHMI sont également associées à une augmentation de la confiance et de la perception de la sécurité (Joisten et al., 2023). Le terme eHMI est actuellement utilisé de manière équivoque, indépendamment du niveau de traitement de l'information pris en charge par le système, et les recherches sur la communication entre véhicules autonomes et usagers de la route considèrent peu cette dimension fonctionnelle. L'étude de Bazilinskyy et al. (2022) illustre cette limite en distinguant des eHMI egocentriques et allocentriques. Les résultats montrent de meilleurs temps de réponse pour les messages egocentriques, mais ceux-ci ont pratiquement tous un impact sur la sélection de la décision, en prescrivant un comportement à l'utilisateur, contrairement aux messages allocentriques qui laisse le choix de la décision à l'utilisateur. La prise en compte de cette catégorisation pourrait améliorer les études futures. En effet, plusieurs travaux soulignent des effets ambivalents des eHMI, notamment une augmentation de la charge cognitive et une dégradation de l'exploration visuelle, ainsi que des comportements de surconfiance (Kaleefathullah et al., 2022). Ces résultats invitent à la prudence dans la délégation de fonctions décisionnelles aux eHMI, d'autant que les interfaces prescriptives soulèvent des enjeux juridiques et de responsabilité.

## **PROBLEMATIQUE**

La difficulté principale de l'interaction entre véhicules autonomes et usagers de la route réside dans la faible capacité de ces derniers à anticiper le comportement du véhicule. Une communication fournissant des informations pertinentes pourrait améliorer la prévisibilité du comportement et la conscience de situation. Toutefois, de nombreuses études reposent sur des plans expérimentaux simplifiés, éloignés des conditions réelles de trafic (Man et al., 2025). Des travaux récents explorent l'utilisation du mouvement du véhicule comme vecteur d'information (Tian et al., 2023), ainsi que le recours à des eHMI facilitant la perception de ce mouvement pour améliorer la compréhension des intentions du véhicule (Eisele et al., 2024). Cette thèse vise à examiner comment la communication peut impacter le processus de décision du piéton afin d'améliorer la compréhension du comportement des véhicules autonomes en situations complexes.

## **1ERE ETUDE : OBSERVATION SYSTEMATIQUE DES USAGERS EN INTERACTION AVEC UNE NAVETTE AUTONOME**

Réalisée dans le cadre de l'action Participation citoyenne du projet VILAGIL portée par Céline Lemercier.

Une étude par observation systématique a été menée afin de mieux comprendre le comportement des usagers en interaction avec une navette autonome. Des travaux antérieurs montrent que, malgré une conduite prudente, ces navettes peuvent enfreindre le code de la route (Beauchamp et al., 2022) et perturber le trafic en raison de leur faible vitesse, tandis que les usagers attendent une coordination des mouvements inexistante (Villadsen et al., 2023). Des caméras ont été placées à l'avant et à l'arrière d'une navette autonome circulant sur le campus de l'université Paul Sabatier à Toulouse afin de filmer les interactions entre la navette et les usagers vulnérables de la route. Treize heures de vidéo ont été recueillies sur quatre jours de septembre 2024 puis analysées à l'aide d'une grille d'observation, aboutissant à 1085 observations, majoritairement de jeunes piétons. La grille d'observation est structurée en cinq catégories portant sur les facteurs sociodémographiques, la situation routière, l'environnement social, le comportement de la navette et celui de l'utilisateur. L'étude s'est

centrée plus spécifiquement sur le comportement visuel des usagers (nombre de fois où le piéton regarde la navette et temps cumulé d'observation notamment), le regard étant un vecteur de communication implicite (Sucha et al., 2017) et un indicateur d'incompréhension (Liu et al., 2020). Les analyses sont en cours.

### **2EME ETUDE : IMPACT DE QUATRE FACTEUR SUR LA VOLONTE DE TRAVERSEE**

*Strahm, V., Caroux, L., Hermen, T., & Lemerrier, C. (2024, August). Effects of autonomous shuttle's distance, speed, eHMI and pedestrian's social environment on pedestrian's crossing decision. Paper presented at the 22nd Triennial Congress of International Ergonomics Association - IEA 2024, Jeju, Republic of Korea.*

La traversée des piétons est influencée par des facteurs individuels et situationnels, tels que l'âge, le genre, la vitesse et la distance du véhicule ou encore l'environnement social (Ezzati Amini et al., 2019). Cette étude visait à examiner l'influence de quatre facteurs (vitesse du véhicule, distance, message eHMI et environnement social du piéton) sur la volonté de traverser dans le contexte des véhicules autonomes (AV), ainsi qu'à identifier des profils de piétons.

Un protocole basé sur 24 scénarios écrits a été utilisé, manipulant ces variables selon un plan intra-sujets. Les participants ( $N = 84$ ,  $M = 27,3$  ans) évaluaient leur volonté de traverser sur une échelle de Likert en 20 points. L'eHMI manipulée dans l'expérience est dite « prescriptive » dans le sens où elle encourage une action. Les résultats montrent un effet significatif de l'ensemble des facteurs : la volonté de traverser était plus élevée à grande distance, à faible vitesse, en présence d'un message eHMI « peut traverser », et lorsque le piéton était seul. Des tailles d'effet moyennes ont été observées pour la distance et l'eHMI, et faibles pour la vitesse. Une analyse par clusters a identifié quatre profils de piétons, différant notamment par leur dépendance à l'eHMI.

Les résultats confirment l'impact des informations dynamiques du véhicule et de l'eHMI. L'analyse par cluster a révélé l'existence de participants se basant exagérément sur l'eHMI. Ces participants ont réalisé des comportements risqués lorsque l'eHMI les a invités à traverser, en négligeant les informations dynamiques du véhicule. Ces observations incitent à la plus grande précaution dans le développement d'eHMI et à la prise en compte des effets d'adaptations comportementales négatives.

### **3EME ETUDE : IMPACT DES DIFFERENTS TYPES D'EhMI ET DU FREINAGE DU VEHICULE SUR LE COMPORTEMENT DU PIETON EN INTERACTION EN SITUATION COMPLEXE**

Un dernier axe, prévu en deux parties, a pour objectif d'examiner la synergie entre eHMI et mouvement du véhicule afin d'améliorer la communication avec les piétons, d'évaluer cette synergie dans un cadre écologique et d'identifier les effets potentiellement néfastes de certains types d'eHMI en situations ambiguës. La première partie étudie l'impact du comportement de freinage (3 profils identifiés) et du type d'eHMI (3 conditions expérimentales et une contrôle) sur les décisions, les temps de réaction et les ressentis subjectifs des piétons (sécurité, confiance perçues, charge cognitive et conscience de situation), en conditions avec et sans charge cognitive induite par une tâche de 1-back. Les participants interagiront avec un véhicule autonome lors de scénarios implémentés dans un simulateur dans lequel il leur sera demandé de traverser une route. L'introduction d'une charge cognitive vise à se rapprocher des conditions écologiques de déplacement routier.

La seconde partie s'appuiera sur le comportement de freinage optimal identifié précédemment et approchera l'écologie de l'activité par d'autres aspects non pris en compte dans la recherche actuellement. Le but sera de recréer le versant complexe de l'activité via

des éléments relatifs à la tâche (charge) et relatifs à l'environnement (distraction) afin de déterminer si les gains liés aux eHMI observés par la recherche se maintiennent en prenant en compte ces éléments.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bazilinsky, P., Sodou, D., & De Winter, J. (2022). *Crowdsourced Assessment of 227 Text-Based eHMIs for a Crossing Scenario*. 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022). <https://doi.org/10.54941/ahfe1002444>
- Beauchamp, É., Saunier, N., & Cloutier, M.-S. (2022). Study of automated shuttle interactions in city traffic using surrogate measures of safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 135, 103465. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103465>
- Beggiato, M., Witzlack, C., & Krems, J. F. (2017). Gap Acceptance and Time-To-Arrival Estimates as Basis for Informal Communication between Pedestrians and Vehicles. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI '17*, 50-57. <https://doi.org/10.1145/3122986.3122995>
- Cœugnet, S., Cahour, B., & Kraïem, S. (2019). *A Psycho-Ergonomic Approach of the Street-Crossing Decision-Making : Toward Pedestrians' Interactions with Automated Vehicles: Volume VI: Transport Ergonomics and Human Factors (TEHF), Aerospace Human Factors and Ergonomics* (p. 132-141). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96074-6_14)
- Dey, D., Habibovic, A., Löcken, A., Wintersberger, P., Pfleging, B., Riener, A., Martens, M., & Terken, J. (2020). Taming the eHMI jungle : A classification taxonomy to guide, compare, and assess the design principles of automated vehicles' external human-machine interfaces. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 7, 100174.
- Dey, D., & Terken, J. (2017). Pedestrian Interaction with Vehicles : Roles of Explicit and Implicit Communication. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 109-113. <https://doi.org/10.1145/3122986.3123009>
- Eisele, D., & Petzoldt, T. (2024). Effects of a frontal brake light on pedestrians' willingness to cross the street. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23, 100990. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100990>
- Endsley, M. R. (2021). Situation Awareness. In *HANDBOOK OF HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS* (p. 434-455). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch17>
- Ezzati Amini, R., Katrakazas, C., & Antoniou, C. (2019). Negotiation and decision-making for a pedestrian roadway crossing : A literature review. *Sustainability*, 11(23), 6713.
- Faas, S. M., Mattes, S., Kao, A. C., & Baumann, M. (2020). Efficient Paradigm to Measure Street-Crossing Onset Time of Pedestrians in Video-Based Interactions with Vehicles. *Information*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/info11070360>
- Färber, B. (2016). Communication and Communication Problems Between Autonomous Vehicles and Human Drivers. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner (Éds.), *Autonomous Driving : Technical, Legal and Social Aspects* (p. 125-144). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_7)
- Gibson, J. J. (s. d.). *The Ecological Approach to Visual Perception*.

- Joisten, P., Theobald, N., & Abendroth, B. (2023). *Pedestrians' Crossing Decisions While Interacting with Automated Vehicles – Insights from a Longitudinal Study*. *60*, 156-164. <https://doi.org/10.26083/tuprints-00023817>
- Kaleefathullah, A. A., Merat, N., Lee, Y. M., Eisma, Y. B., Madigan, R., Garcia, J., & Winter, J. D. (2022). External Human–Machine Interfaces Can Be Misleading : An Examination of Trust Development and Misuse in a CAVE-Based Pedestrian Simulation Environment. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *64*(6), 1070-1085. <https://doi.org/10.1177/0018720820970751>
- Lee, Y. M., Madigan, R., Giles, O., Garach-Morcillo, L., Markkula, G., Fox, C., Camara, F., Rothmueller, M., Vendelbo-Larsen, S. A., Rasmussen, P. H., Dietrich, A., Nathanael, D., Portouli, V., Schieben, A., & Merat, N. (2021). Road users rarely use explicit communication when interacting in today's traffic : Implications for automated vehicles. *Cognition, Technology & Work*, *23*(2), 367-380. <https://doi.org/10.1007/s10111-020-00635-y>
- Liu, H., Hirayama, T., Saiki, L. Y. M., & Murase, H. (2020). What timing for an automated vehicle to make pedestrians understand its driving intentions for improving their perception of safety? *2020 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1-6. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9294696/>
- Man, S. S., Huang, C., Ye, Q., Chang, F., & Chan, A. H. S. (2025). Pedestrians' Interaction with eHMI-equipped Autonomous Vehicles : A Bibliometric Analysis and Systematic Review. *Accident Analysis & Prevention*, *209*, 107826. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107826>
- Markkula, G., Madigan, R., Nathanael, D., Portouli, E., Lee, Y. M., Dietrich, A., Billington, J., Schieben, A., & Merat, N. (2020). Defining interactions : A conceptual framework for understanding interactive behaviour in human and automated road traffic. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *21*(6), Article 6. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2020.1736686>
- Onkhar, V., Bazilinskyy, P., Dodou, D., & de Winter, J. C. F. (2022). The effect of drivers' eye contact on pedestrians' perceived safety. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *84*, 194-210. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.10.017>
- Pan, Y., Wu, Y., Xu, L., Xia, C., & Olson, D. L. (2024). The Impacts of Connected Autonomous Vehicles on Mixed Traffic Flow : A Comprehensive Review. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 129454. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.129454>
- Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2015). Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world. *Journal of safety research*, *52*, 39-46.
- Pekkanen, J., Giles, O. T., Lee, Y. M., Madigan, R., Daimon, T., Merat, N., & Markkula, G. (2022). Variable-Drift Diffusion Models of Pedestrian Road-Crossing Decisions. *Computational Brain & Behavior*, *5*(1), 60-80. <https://doi.org/10.1007/s42113-021-00116-z>
- Schwall, M., Daniel, T., Victor, T., Favarò, F., & Hohnhold, H. (s. d.). *Waymo Public Road Safety Performance Data*.
- Sucha, M., Dostal, D., & Risser, R. (2017). Pedestrian-driver communication and decision strategies at marked crossings. *Accident Analysis & Prevention*, *102*, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.018>
- Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Oviedo-Trespalacios, O., & Timmis, A. (2021). To cross or not to cross? Review and meta-analysis of pedestrian gap acceptance decisions at midblock

- street crossings. *Journal of Transport & Health*, 22, 101108. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101108>
- Tian, K., Markkula, G., Wei, C., Lee, Y. M., Madigan, R., Hirose, T., Merat, N., & Romano, R. (2023). *Deconstructing Pedestrian Crossing Decision-making in Interactions with Continuous Traffic: An Anthropomorphic Model* (arXiv:2301.10419). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.10419>
- Tian, K., Tzigieras, A., Wei, C., Lee, Y. M., Holmes, C., Leonetti, M., Merat, N., Romano, R., & Markkula, G. (2023). Deceleration parameters as implicit communication signals for pedestrians' crossing decisions and estimations of automated vehicle behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 190, 107173.
- Villadsen, H., Lanng, D. B., & Hougaard, I. (2023). Automated shuttles and 'negotiation in motion' – A qualitative meta-synthesis of spatial interactions with human road users. *Transport Policy*, 137, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.04.007>

---

*La formation au geste technique : vers un dispositif numérique basé sur l'IA pour la transmission et l'appropriation de savoir-faire industriels.*

**Raphaël THOUÉZ**

Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la Dynamique des comportements (2LPN), Université de Lorraine, Nancy, France  
Cognivance, Nancy, France  
[raphael.thouez@univ-lorraine.fr](mailto:raphael.thouez@univ-lorraine.fr)

**Valérie SAINT-DIZIER de ALMEIDA**

Laboratoire Lorrain de Psychologie et Neurosciences de la Dynamique des comportements (2LPN), Université de Lorraine, Nancy, France  
[valerie.saint-dizier@univ-lorraine.fr](mailto:valerie.saint-dizier@univ-lorraine.fr)

**Franck AMADIEU**

Laboratoire Cognition, Langues, Langage, Ergonomie (CLLE, UMR 5263), Université Toulouse – Jean Jaurès, Toulouse, France  
[franck.amadieu@univ-tlse2.fr](mailto:franck.amadieu@univ-tlse2.fr)

---

**RÉSUMÉ**

Les transformations numériques et les départs massifs à la retraite fragilisent la transmission des savoir-faire et des gestes professionnels dans l'industrie manufacturière. Ces gestes, souvent complexes et reposant en partie sur des connaissances et compétences tacites, sont difficiles à transmettre par les dispositifs de formation classiques. Cette communication présente un projet de thèse en psychologie ergonomique portant sur la conception et l'évaluation d'un dispositif numérique de formation au geste technique fondé sur l'intelligence artificielle. Inscrite dans une démarche de recherche et de conception centrée utilisateur, la thèse analyse l'activité réelle des acteurs impliqués dans la transmission et l'apprentissage des gestes afin de favoriser l'appropriation, l'acceptabilité et l'efficacité pédagogique du dispositif. Les premiers résultats portent sur l'analyse de la littérature, l'identification de contraintes environnementales et organisationnelles, ainsi que sur les premières itérations de conception.

**MOTS-CLÉS**

Geste technique ; formation professionnelle ; psychologie ergonomique ; conception centrée utilisateur ; intelligence artificielle ; transmission des savoir-faire

## 1 INTRODUCTION

Les industries manufacturières contemporaines sont traversées par des transformations profondes liées à la numérisation des systèmes de production, à l'automatisation croissante et à l'introduction de technologies fondées sur l'intelligence artificielle. Ces évolutions modifient en profondeur l'organisation du travail, les compétences requises et les modalités de transmission des savoir-faire professionnels, comme l'ont montré Autor (2015) et Brynjolfsson et McAfee (2014). Dans ce contexte, les gestes techniques, longtemps transmis par l'expérience, l'observation et le compagnonnage, se trouvent fragilisés.

À ces mutations technologiques s'ajoute un phénomène démographique majeur : le départ massif à la retraite de travailleurs expérimentés dans de nombreux secteurs industriels. Cette situation entraîne une perte progressive de savoirs experts, en particulier dans les métiers manuels spécialisés, et accentue les difficultés de transmission intergénérationnelle des compétences (Billett, 2001). Or, ces gestes professionnels reposent en grande partie sur des savoirs tacites, incorporés dans l'action et difficilement verbalisables, selon la célèbre formulation de Polanyi (1967), pour qui « nous savons plus que nous ne pouvons dire ».

En psychologie ergonomique, le geste technique est appréhendé comme un segment d'activité située, résultant d'un compromis dynamique entre prescriptions, contraintes de l'environnement et ressources propres de l'opérateur (Leplat, 2000). Les travaux en didactique professionnelle ont montré que l'apprentissage de ces gestes s'appuie sur la construction progressive de schèmes opératoires permettant de traiter des classes de situations, à travers l'expérience et la régulation de l'action (Pastré, Mayen et Vergnaud, 2006). La transmission des gestes ne peut ainsi être réduite à une simple démonstration ou à une formalisation procédurale.

Les dispositifs traditionnels de formation, tels que le compagnonnage ou la formation formelle, présentent des atouts indéniables mais se heurtent à des limites organisationnelles, temporelles et pédagogiques (Clot, 2008). De leur côté, les dispositifs numériques de formation offrent de nouvelles opportunités, mais leur efficacité dépend fortement de leur capacité à s'inscrire dans l'activité réelle et à être appropriés par les utilisateurs (Falzon, 2013). De nombreuses recherches soulignent que l'échec de ces dispositifs tient moins à la technologie mobilisée qu'à une conception insuffisamment centrée sur les usages et les conditions réelles de travail (Norman, 1986).

Le choix d'un dispositif numérique fondé sur l'intelligence artificielle repose sur plusieurs constats issus du terrain industriel et de la littérature. D'une part, les modalités traditionnelles de transmission du geste technique (compagnonnage, tutorat, observation directe) demeurent fortement dépendantes de la disponibilité des experts, ressource aujourd'hui fragilisée par les départs à la retraite et les contraintes de production (Daghfous et al., 2023). D'autre part, les dispositifs numériques classiques peinent à proposer un accompagnement suffisamment contextualisé et adaptatif aux besoins des apprenants (Benkhalfallah et al., 2024). Dans cette perspective, l'intérêt de l'IA ne réside pas dans une substitution à l'expertise humaine, mais dans sa capacité à soutenir une médiation pédagogique plus flexible, notamment par l'adaptation des contenus aux besoins de l'utilisateur, l'assistance contextualisée en situation d'action et la structuration progressive de connaissances difficilement verbalisables (Falckenthal et al., 2025). L'hypothèse sous-jacente est qu'un tel dispositif pourrait contribuer à soutenir l'acquisition de savoir-faire techniques en complément des formes existantes de transmission, plutôt qu'à les remplacer. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce projet de thèse en psychologie ergonomique, qui vise à analyser l'activité réelle des acteurs impliqués dans la transmission et l'apprentissage des gestes techniques,

afin de concevoir et d'évaluer un dispositif numérique fondé sur l'intelligence artificielle. Inscrite dans une démarche de recherche-action et de conception centrée utilisateur (Organisation internationale de normalisation, ISO 9241-210, 2010), la recherche interroge les conditions d'appropriation, d'acceptabilité et d'efficacité pédagogique de ces dispositifs dans des contextes industriels contraints.

## **2 CADRE THEORIQUE**

Le cadre théorique mobilisé dans cette recherche vise à articuler trois niveaux d'analyse complémentaires pour comprendre les enjeux de la formation au geste technique. Il s'agit, d'une part, de considérer le geste comme une activité située, indissociable des conditions concrètes de réalisation et des ajustements opérés par les acteurs. D'autre part, ce cadre interroge les modalités de transmission de ces gestes et les limites des dispositifs de formation existants, en mettant en évidence les écarts entre prescriptions, dispositifs et activité réelle. Enfin, il s'appuie sur une approche systémique et une conception centrée utilisateur afin d'analyser les conditions d'acceptabilité et d'appropriation des dispositifs numériques de formation, en tenant compte de leurs effets sur l'activité individuelle et collective. Cette articulation théorique permet de fonder une approche de conception attentive aux usages, aux contraintes du travail et aux transformations induites par les outils.

### **2.1. Le geste technique comme activité située**

En psychologie ergonomique, le geste technique est envisagé comme un segment d'activité située, indissociable du contexte dans lequel il s'inscrit. Il résulte d'un compromis dynamique entre prescriptions, contraintes matérielles, organisationnelles et ressources propres de l'opérateur (Leplat, 2000). L'analyse de l'activité permet ainsi de dépasser une vision normative ou strictement biomécanique du geste pour en saisir la dimension fonctionnelle, adaptative et signifiante pour l'acteur.

Les travaux en didactique professionnelle soulignent que l'apprentissage des gestes repose sur la construction de schèmes opératoires permettant de traiter des classes de situations (Pastré, Mayen & Vergnaud, 2006). Ces schèmes se développent à travers l'expérience, l'ajustement progressif de l'action et les retours de l'environnement. Une part importante de ces compétences demeure tacite et difficilement verbalisable (Polanyi, 1967), ce qui constitue un obstacle majeur à leur transmission, en particulier dans des contextes industriels marqués par la rareté des experts et la variabilité des situations.

### **2.2. Transmission des gestes et limites des dispositifs de formation**

Les modalités traditionnelles de transmission, telles que le compagnonnage ou le tutorat en situation de travail, favorisent l'immersion et l'apprentissage par observation, mais restent fortement dépendantes de la disponibilité des experts et de la stabilité des collectifs. La formation formelle et les dispositifs numériques (simulateurs, e-learning) offrent quant à eux des cadres plus standardisés, mais peinent à intégrer la complexité de l'activité réelle et la dimension incarnée du geste.

La littérature montre que l'efficacité des dispositifs de formation au geste dépend moins de la technologie mobilisée que de leur capacité à s'inscrire dans l'activité réelle, à soutenir la compréhension de l'action et à être appropriés par les utilisateurs. L'absence de prise en

compte des contraintes organisationnelles, des logiques de métier et des représentations des acteurs constitue un facteur récurrent d'échec ou de non-usage.

Si les gestes techniques s'inscrivent dans des dynamiques collectives de travail et de régulation partagée, cette recherche fait le choix d'un cadrage centré sur l'activité individuelle en situation, dans la mesure où le dispositif étudié vise la captation et la formalisation de gestes experts destinés à devenir des supports de formation et d'instruction du travail. La dimension collective n'est toutefois pas ignorée, puisqu'elle est indirectement prise en compte à travers l'analyse des normes de métier, des interactions de transmission et des critères de qualité mobilisés par les acteurs.

### **2.3. Approche systémique, acceptabilité et conception centrée utilisateur**

La thèse s'inscrit dans le champ de la psychologie ergonomique et mobilise une approche systémique du système de travail (Thatcher & Yeow, 2016), considérant conjointement l'environnement, l'humain et le couplage humain-système. Cette approche permet d'analyser les effets des dispositifs de formation sur l'activité, ainsi que les transformations qu'ils induisent au niveau individuel et organisationnel.

La conception centrée utilisateur (Norman, 1986 ; ISO 9241-210, 2010) constitue un cadre méthodologique central du projet. Elle repose sur l'implication des utilisateurs tout au long du processus de conception, l'analyse de leurs besoins et l'évaluation itérative des solutions proposées. Dans cette perspective, l'acceptabilité et l'appropriation du dispositif sont envisagées comme des processus situés, dépendants des conditions réelles d'usage et des effets perçus sur l'activité.

## **3 PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE LA THESE**

La problématique centrale de la thèse est la suivante : comment concevoir un dispositif numérique de formation au geste technique, fondé sur l'IA, permettant de préserver les savoirs tacites des experts tout en innovant dans les modalités de transmission, afin de répondre aux besoins différenciés des apprenants, des experts et des organisations industrielles ?

Deux objectifs principaux structurent le projet : (1) identifier les types de contenus, leurs modes de formalisation et de présentation les plus adaptés à la transmission des gestes techniques ; (2) évaluer le dispositif en termes d'apprentissage, d'utilisabilité, de satisfaction et d'appropriation, dans une logique itérative de conception.

## **4 UNE INVESTIGATION EN 3 ETAPES**

La recherche s'organise en trois étapes complémentaires articulant un travail de cadrage théorique, une analyse empirique de l'activité et une démarche de conception-évaluation du dispositif.

### **4.1. Revue critique de la littérature**

Le premier temps de travail consiste en une revue critique et intégrative de la littérature visant à identifier les déterminants de l'efficacité de la formation au geste professionnel, tous

domaines confondus (industrie, santé, sport, enseignement, services). Contrairement aux revues centrées exclusivement sur les dispositifs numériques ou sur des indicateurs de performance isolés, cette revue adopte une posture non technocentrée, considérant les dispositifs de formation comme des médiations de l'activité gestuelle plutôt que comme des solutions en soi.

La revue mobilise huit bases de données internationales (PubMed, PsycInfo, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore, SPORTDiscus, Embase et Google Scholar) et s'appuie sur une stratégie de recherche combinant mots-clés relatifs au geste, à l'apprentissage, à la formation professionnelle, à la simulation et aux dispositifs pédagogiques. Les travaux sont sélectionnés selon des critères explicites portant sur le niveau d'analyse du geste, le contexte d'apprentissage et les indicateurs d'efficacité mobilisés.

Sur le plan théorique, la revue s'inscrit dans une perspective intégrative, articulant des apports issus de l'ergonomie de l'activité, de la didactique professionnelle, de la psychologie cognitive, des sciences du mouvement et des approches socioculturelles. Après présentations des multiples appellations du concept de geste, lui-même adopté dans plusieurs typologies de formation, l'étude propose de ne pas retenir un type de geste comme unité d'analyse située, mais d'utiliser la notion d'activité gestuelle afin de la considérer comme une dynamique de flux circulant entre les composants de l'activité de travail, alors considérée comme un système. L'analyse vise ainsi à dépasser la fragmentation disciplinaire de la littérature en proposant une architecture multiniveaux des déterminants de la formation au geste, structurée autour de plusieurs plans de l'activité gestuelle (sensorimoteur, perceptivo-cognitif, pragmatique-situationnel, social-normatif et identitaire-développemental), conformément à l'approche systémique de Thatcher et Yeow (2016).

Cette revue constitue un socle théorique et méthodologique pour les axes empiriques de la thèse, en permettant d'identifier les variables pertinentes à prendre en compte dans l'analyse de l'activité et dans la conception du dispositif de formation, ainsi que les limites récurrentes des modèles variable centriques et des évaluations décontextualisées. Dans cette recherche, la notion de transmission des savoir-faire est entendue non comme un transfert direct et linéaire de gestes experts vers les apprenants, mais comme un processus médié et situé, au sein duquel les savoir-faire sont progressivement acquis, reconstruits et appropriés dans l'activité. Le maintien du terme de transmission se justifie néanmoins par l'objet même de la thèse, qui interroge les conditions organisationnelles, techniques et pédagogiques permettant de préserver et de rendre accessibles des savoir-faire industriels fragilisés par les transformations du travail et le renouvellement générationnel des compétences. Ce choix terminologique apparaît d'autant plus pertinent que la notion de « transmission des savoir-faire » est largement mobilisée dans les milieux industriels et institutionnels pour désigner les enjeux de continuité des compétences, de maintien de l'expertise métier et de préparation des nouvelles générations de travailleurs. La recherche se situe ainsi à l'articulation entre ces préoccupations organisationnelles et une compréhension ergonomique de l'apprentissage, envisagé comme un processus d'appropriation situé du geste technique.

#### **4.2. Analyse systémique de l'activité**

Une analyse approfondie du terrain est menée selon le modèle de Thatcher et Yeow (2016). Le terrain d'étude correspond à un atelier industriel de soudage-brasage mobilisant des opérateurs aux niveaux d'expérience variés (experts, opérateurs intermédiaires et apprenants). Le terrain d'étude est mené au sein de l'entreprise familiale Barroy et Fils, implantée à Pulnoy (Meurthe-et-Moselle), spécialisée depuis plusieurs générations dans les

activités de soudure, chaudronnerie, brasage et mécanique générale. Cette PME industrielle d'une dizaine de salariés intervient notamment dans la réparation et la fabrication sur mesure de pièces métalliques, mobilisant des gestes techniques spécialisés dans un environnement de production caractérisé par une forte variabilité des situations de travail et une transmission largement située des savoir-faire. L'analyse porte à la fois sur les situations productives ordinaires et sur les moments explicites de transmission du geste (accompagnement informel, démonstration, correction ou verbalisation en situation). Une attention particulière est portée aux ajustements opérés par les acteurs face aux contraintes matérielles, temporelles et sécuritaires propres à cette activité. Elle repose sur des observations non participantes, des entretiens semi-directifs et une analyse documentaire. Cette phase vise à comprendre les contraintes environnementales, organisationnelles et humaines pesant sur la transmission des gestes.

L'étude des différentes composantes de l'activité repose sur une triangulation méthodologique. L'environnement de travail est appréhendé à partir d'analyses documentaires, d'observations non participantes, un focus group inspiré de la méthode de l'objet technique (Gaubert et al., 2024), et d'échanges informels avec les acteurs. La composante humaine est investiguée au moyen d'entretiens semi-directifs conduits auprès des experts, des apprenants et des référents organisationnels impliqués dans la formation et la production. Enfin, le couplage humain-environnement est analysé à travers des entretiens en auto-confrontation, mis en regard avec la méthode de l'objet technique afin de documenter les ajustements fins du geste, les arbitrages opératoires et les difficultés rencontrées dans sa transmission.

Une attention particulière est également portée aux parcours de formation initiale des opérateurs (CFA, apprentissage, formation interne ou reconversion), dans la mesure où ces trajectoires influencent les modalités d'acquisition, de verbalisation et d'appropriation du geste technique.

Au-delà de sa fonction descriptive, l'analyse systémique de l'activité constitue également un support de formalisation des composantes du geste technique. Elle vise à établir une ontologie du geste, entendue comme une structuration des entités, relations, contraintes, repères opératoires et logiques d'action mobilisées dans l'activité, afin d'alimenter un métamodèle du domaine. Ce travail de modélisation a vocation à nourrir le fonctionnement du système d'intelligence artificielle générative mobilisé dans le dispositif, en permettant au modèle de langage de contextualiser les contenus proposés au regard des situations de travail et des besoins des apprenants.

#### **4.3. Conception et évaluation du dispositif**

Le dispositif étudié dans cette recherche se nomme *Le Beau Geste*<sup>®</sup>. C'est un logiciel développé par Cognivance, entreprise spécialisée dans la captation, la structuration et la transmission des savoir-faire industriels à l'aide de technologies d'intelligence augmentée. Le Beau Geste vise à transformer des démonstrations expertes réalisées en situation de travail en contenus structurés destinés à soutenir la formation, la standardisation des pratiques et la montée en compétences des opérateurs. Le dispositif s'appuie notamment sur *CoGeo* (compagnon gestuel opérationnel), un module d'assistance permettant d'accompagner les apprenants dans la réalisation du geste technique à travers différentes modalités d'aide contextualisée, articulant formalisation préalable, guidage progressif et soutien en situation.

Le Beau Geste prend la forme d'une plateforme numérique de formalisation et de soutien à l'apprentissage des gestes techniques, pensée comme un outil intermédiaire entre les experts

métier, les apprenants et l'organisation. Il permet aux experts de documenter certaines procédures et éléments critiques du geste, aux administrateurs d'organiser les contenus pédagogiques et aux apprenants d'accéder à différents modes d'accompagnement selon leur niveau et leur situation d'apprentissage. Sur le plan technologique, le dispositif mobilise une forme d'intelligence artificielle générative reposant sur un grand modèle de langage (Large Language Model – LLM), dont la fonction n'est pas de remplacer l'expertise métier mais de soutenir l'accès, l'organisation et la restitution contextualisée de connaissances relatives au geste technique. L'IA intervient principalement comme médiation entre les contenus issus de l'activité experte et les besoins situés des apprenants, notamment à travers des capacités de structuration, de reformulation et d'assistance contextualisée en situation d'action. Ce dispositif repose sur cinq phases (information, captation, confrontation, génération, appropriation) et s'adresse à trois profils d'utilisateurs : administrateurs, experts et apprenants. Des tests utilisateurs sont menés pour chaque profil, combinant scénarios d'usage, entretiens post-test, questionnaires et mesures objectives (chronométrie, analyses discursives).

À ce stade du projet, l'intelligence artificielle envisagée repose principalement sur des mécanismes d'aide à la structuration, à l'indexation et à la restitution contextualisée des contenus issus de l'activité experte. Plus précisément, le dispositif mobilise des données multimodales produites lors des phases de captation (séquences d'actions, commentaires experts, structuration des étapes du geste) afin de proposer des formes d'assistance adaptées aux situations rencontrées par les apprenants. Le rôle de l'IA n'est donc pas celui d'un système autonome de décision, mais d'un support d'aide à l'apprentissage visant à contextualiser les informations pertinentes au moment opportun.

Le troisième axe méthodologique repose sur une analyse systémique de l'activité des pratiquants en situation de formation, combinant observation des usages, analyse des interactions avec le dispositif et étude des effets sur l'apprentissage. Deux fonctionnalités existantes du dispositif sont investiguées : le guidage par étapes (GPE), mobilisé en amont ou en aval de l'activité productive, et un mode mains libres (MML) d'assistance audio en situation de réalisation de la tâche. Ces fonctionnalités correspondent à des modalités différenciées d'encodage et de conceptualisation, respectivement en différé et dans l'action. L'étude vise à analyser comment ces modalités sont mobilisées selon le niveau de connaissances préalables des pratiquants (novices vs non-novices), et comment elles influencent l'activité, les besoins d'assistance, la performance et la charge cognitive. Le protocole s'appuie sur un design longitudinal en pré-post-test, combinant mesures d'usage, indicateurs de performance, épreuves pratiques et entretiens semi-directifs, afin d'identifier les conditions d'efficacité, d'appropriation et de régulation de l'activité dans un contexte industriel réel.

Le transfert et l'apprentissage du geste sont étudiés à partir de situations concrètes de formation et de réalisation de tâches en individuel, en observant les évolutions dans la manière dont les pratiquants mobilisent les ressources disponibles, régulent leur activité et adaptent leurs stratégies opératoires au fil du temps. L'analyse s'intéresse notamment aux écarts entre novices et opérateurs plus expérimentés, ainsi qu'aux effets différenciés des modalités d'assistance proposées.

## 5 PREMIERS RESULTATS ET PERSPECTIVES

Les premiers résultats du travail de thèse concernent trois niveaux d'analyse. D'une part, l'analyse de la littérature a permis d'identifier les principales variables influençant l'efficacité des formations au geste, en mettant en évidence le rôle central des conditions d'activité, du feedback et de l'accompagnement des apprenants. D'autre part, l'analyse environnementale du terrain industriel met en lumière des contraintes fortes, liées à un environnement de travail vieillissant, à des pratiques peu formalisées et des tensions liées aux transformations organisationnelles et technologiques, renvoyant à des enjeux de confiance, de charge de travail perçue, de reconnaissance des compétences et de sens attribué au dispositif qui influencent directement les modalités de transmission des gestes.

Enfin, les premières itérations de conception du dispositif révèlent plusieurs enjeux ergonomiques : la difficulté pour les experts à expliciter leurs gestes, la consultation partielle des contenus par les apprenants et les problèmes de structuration des tâches rencontrés par les administrateurs. Ces constats alimentent un processus itératif de conception visant à ajuster le dispositif aux besoins réels des acteurs et à soutenir son appropriation.

Les perspectives de la recherche portent sur l'évaluation approfondie du parcours apprenant en pré- et post-test, l'analyse des interactions humain-IA du point de vue de l'activité et l'étude de la transférabilité du dispositif à d'autres gestes techniques ou contextes industriels.

## 6 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'entreprise Cognivance, partenaire du projet, pour sa confiance et l'accès au dispositif *Le Beau Geste*® étudié dans le cadre de cette recherche. Des remerciements sont également adressés à l'entreprise familiale Barroy et Fils pour son accueil sur le terrain, sa disponibilité et l'accès privilégié à ses situations de travail, qui ont permis une première acculturation exploratoire aux réalités du domaine du soudage-brasage et à ses enjeux de transmission des savoir-faire.

## 7 BIBLIOGRAPHIE

- Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3>
- Benkhalfallah, F., Laouar, M., & Benkhalfallah, M. (2024). Examining Adaptive E-Learning Approaches to Enhance Learning and Individual Experiences. *Acta Informatica Pragensia*. <https://doi.org/10.18267/j.aip.240>.
- Billett, S. (2001). *Learning in the workplace: Strategies for effective practice*. Allen & Unwin.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
- Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. Presses Universitaires de France.
- Falzon, P. (2013). Why design for human activity? In P. Falzon (Ed.), *Constructive ergonomics* (pp. 3–13). CRC Press.
- Daghfous, A., Amer, N., Belkhodja, O., Angell, L., & Zoubi, T. (2023). Managing knowledge loss: a systematic literature review and future research directions. *J. Enterp. Inf. Manag.*, 36, 1008-1031. <https://doi.org/10.1108/jeim-05-2022-0171>.

- Falckenthal, B., Au-Yong-Oliveira, M., & Figueiredo, C. (2025). Intergenerational Tacit Knowledge Transfer: Leveraging AI. *Societies*. <https://doi.org/10.3390/soc15080213>.
- Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique du travail*. Presses Universitaires de France.
- Norman, D. A. (1986). *Cognitive engineering*. In D. A. Norman & S. W. Draper (Eds.), *User centered system design* (pp. 31–61). Lawrence Erlbaum Associates.
- Organisation internationale de normalisation. (2010). *ISO 9241-210: Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems*. ISO.
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue Française de Pédagogie*, (154), 145–198.
- Polanyi, M. (1967). *The tacit dimension*. Routledge & Kegan Paul.
- Gaubert, T., Cuvillier, B., Leblanc, É., & Rouat, S. (Dirs.). (2024). *La méthode de l'objet technique : Reprendre la main sur l'activité*. Octarès Éditions.
- Thatcher, A., & Yeow, P. H. P. (2016). Human–technology interaction in socio-technical systems: A systems approach to ergonomics. *Ergonomics*, 59(4), 495–507. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1096417>
-