

Société Française de Psychologie
Département Recherche

ÉPIQUE 2001

Journées d'étude en psychologie ergonomique



29 - 30 OCTOBRE
N A N T E S - I R C C y N

Avec le soutien de l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes,
de l'École Centrale de Nantes, du Centre National de la Recherche Scientifique et de la
Région Pays de la Loire.

Comité de Programme

R. Amalberti (IMASSA),
F. Anceaux (CNRS/Valenciennes),
Ch. Bastien (Paris-V),
Cl. Bastien (Aix-Marseille-I),
J.M. Cellier (CNRS/Toulouse-II),
F. Darses (CNAM/INRIA),
F. Détienne (INRIA),
E. de Vries (Grenoble-II),
P. Falzon (CNAM),
A. Giboin (INRIA),
V. Grosjean (INRS),
J.M. Hoc (CNRS/Nantes),
É. Jamet (Rennes-II),
A.Lancry (Amiens/MEN),
G. Malaterre (INRETS),
J.C. Marquié (CNRS/Toulouse-II),
M. Neboit (INRS/Nancy),
B.Pavard(CNRS/Toulouse-I),
É. Raufaste (CNRS/Toulouse-II),
J. Rogalski (CNRS/Paris-VIII),
J.F. Rouet (CNRS/Poitiers),
D. L. Scapin (INRIA),
J.C. Spérandio (Paris-V),
J.Theureau(CNRS/Compiègne),
A. Tricot (IUFM/CNRS/Toulouse-II),
A. Vom Hofe (Rouen)

Avant-propos

La psychologie ergonomique, discipline mise en avant dans ces deux journées d'étude, connaît actuellement une phase d'essor très importante. Ce succès s'explique sans doute par la convergence de plusieurs évolutions récentes parmi lesquelles on retiendra :

- le développement extraordinaire des technologies liées à l'Internet, et en particulier aux sites web;
- les besoins de connaissances sur l'activité humaine, liés à l'émergence de systèmes logiciels de complexité croissante;
- la problématique de la sécurité dans les systèmes complexes;
- l'émergence de nouvelles modalités de travail collectif et de certaines catégories de tâches de conception.

Cet engouement se traduit très concrètement par des difficultés de recrutement dans les centres de recherche, tant les étudiants sont actuellement courtisés par le monde de l'entreprise. On ne peut bien sûr que se réjouir de ce succès, en dépit des inconvénients qu'il peut engendrer pour l'organisation de la "relève" en matière de recherche comme d'enseignement.

Si les évolutions récentes profitent à la psychologie ergonomique, elles se trouvent néanmoins à la croisée de bien d'autres communautés de chercheurs. Parmi d'autres, l'automatique, l'informatique, HCI, l'ergonomie, la fiabilité humaine, les sciences de l'ingénieur peuvent légitimement se déclarer compétentes pour aborder une ou plusieurs de ces évolutions sous l'angle de la recherche ou de l'application. Dès lors, pourquoi organiser des journées qui pourraient paraître à d'aucuns trop monofocales, et donc exclusives d'autres disciplines dont nous reconnaissons la pertinence eu égard aux thèmes abordés ? Toutes ces approches sont respectables et l'ambition de ces deux jours est simplement d'affirmer la nécessité d'un positionnement spécifique, construit collectivement, pour la psychologie ergonomique.

Notre point de vue est que, pour mieux aborder ce dialogue avec les disciplines qui partagent peu ou prou nos objets d'étude, la psychologie ergonomique en tant que discipline doit davantage affirmer ses spécificités. Elle doit notamment préciser son ancrage et ses convergences conceptuelles avec des disciplines et des connaissances amont qui procèdent principalement de la psychologie ; c'est en cela qu'elle se distingue des autres approches avec lesquelles elle partage pourtant des centres d'intérêt. Nous avons la conviction que la spécificité de la psychologie ergonomique tient notamment à l'affirmation qu'un détour est nécessaire pour contribuer aux défis des évolutions sociotechniques récentes et que ce détour passe par un approfondissement des connaissances sur l'homme et son fonctionnement cognitif dans les situations de travail.

S'il n'y a, certes, pas d'exclusive et si nombreux parmi nous sont ceux qui mènent conjointement le dialogue avec d'autres disciplines plus directement focalisées sur les défis renouvelés des nouvelles technologies, nous pensons néanmoins que ce dialogue a tout à gagner à ce que la psychologie ergonomique s'affirme de façon renforcée. Une des ambitions de ces deux journées est donc de souligner les spécificités du positionnement de cette discipline. Pour un meilleur dialogue s'appuyant sur une vision approfondie de notre identité et de nos limites.

Vincent Grosjean
Eric Raufaste

Table des matières

Session 1 : Conception des situations de travail

Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique.	p 11
F. Darses, F. Détienne et W. Visser	
La conception collaborative d'artefacts : Activités cognitives en situation dialogique.	p 21
N. Grégori et C. Brassac	
Critères ergonomiques et contraintes : Comment les concepteurs de sites Web en tiennent-ils compte ?	p 33
N. Bonnardel et A. Chevalier	
Transformer les représentations par les concepteurs des situations d'usage : Une étape pour faciliter la participation des utilisateurs.	p 41
M. Cerf	

Session 2 : Situations dynamiques

Erreurs de conduite et besoins d'aide : une approche accidentologique.	p 51
P. Van Elslande	
Des représentations singulières d'une situation d'interaction aux prédictions d'action convergentes.....	p 63
C. Mundutéguy	
Gestion de la prise d'informations pour la planification en situation dynamique : l'anesthésie.	p 71
F. Anceaux, H. Thuilliez et M.C. Beuscart-Zéphir	
Éléments pour une modélisation du concept d'affordance.....	p 83
T. Morineau	
Comment traduire le degré d'urgence d'une alarme sonore non vocale ?	p 97
A. Guillaume, L. Pellieux, V. Chastres et C. Drake	

Session 3 : Assistance

Assistance à la mise à quai de camions de transport routier en sécurité.....	p 105
F. Hella, J.F. Schouller et D. Clément	
Evaluation d'un collecticiel structuré par rapport à un forum de discussion.	p 119
M. Lewkowicz et M. Zacklad	
Méthodologie de spécification pour un système informatique de guidage verbal : le déplacement des déficients visuels en ville.....	P 133
F. Gaunet et X. Briffault	
Description d'itinéraires : Effets du modèle de l'interlocuteur. Détailler les moyens ou se restreindre au but à atteindre.	p 145
M. Grall et W. Visser	

Session 4 : Cognition et émotion

Analyse des émotions en situation de travail : une approche psycho-ergonomique..... p 155
C. Ribert-Van de Weerd

Interface humanisée : quels effets sur l'implication dans la tâche et la qualité de l'interaction ? p 163
M. Dubois et F. Tajariol

Étude expérimentale de l'applicabilité de modèles d'agrégation flous à l'étude de la charge mentale... p 171
E. Raufaste, P. Terrier, M. Grabisch, J. Lang et H. Prade

Session 5 : Intervention et changement

La mise en place de documents professionnels en entreprise :
la psychologie ergonomique à la croisée de l'ergonomie cognitive et de la psychologie sociale..... p 179
E. Brangier et J. Barcenilla

Nouvelles technologies et aide à la compréhension de documents techniques. p 189
J. M. Boucheix

Ateliers jeunes chercheurs

La relation de confiance entre le conducteur et un système automatique de régulation de vitesse :
un cadre opérationnel d'analyse. p 199
B. Rajaonah

L'erreur de diagnostic en médecine d'urgence : étude de cas..... p 205
L. Marquié

Définitions et méthodologie relatives à la complexité des IHM vocales :
Grille et Cartographie de la complexité d'utilisation. p 211
C. Guyot-Toudic, E. Jamet et S. Botrel

La gestion des conflits d'objectifs dans la conduite de processus industriels. p 217
P. Letzkus

Gestion de la dimension temporelle : raisonnement explicite et ajustement implicite. p 223
O. Carreras

Effet de redondance et effet de modalité réunis. p 231
O. Le Bohec et E. Jamet

Session 1

Conception des situations de travail

Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique

Françoise Darses, Françoise Détienne & Willemien Visser

INRIA / CNAM

Projet EIFFEL - Cognition & Coopération en Conception

Rocquencourt B.P. 105

78153 LE CHESNAY CEDEX (FRANCE)

email: Francoise.Darses@inria.fr, Francoise.Detienne@inria.fr, Willemien.Visser@inria.fr

RÉSUMÉ

Cette communication fait le point sur les perspectives de recherche en psychologie cognitive ergonomique relatives à la compréhension et à la modélisation des activités cognitives des concepteurs. On rappelle brièvement comment la psychologie cognitive ergonomique définit ces activités, puis on fait le point sur les limitations inhérentes aux méthodes prescriptives de conception, eu égard aux activités cognitives effectives des concepteurs. Ces limitations tiennent en particulier à l'incapacité actuelle des méthodes et des outils à assister les phases amont de la conception. Par ailleurs, on rappelle comment les évolutions socio-techniques des métiers de la conception entraînent de nouveaux besoins d'assistance, notamment d'assistance à la coopération entre concepteurs, mais aussi d'assistance à la conservation de la logique de conception.

MOTS-CLÉS

Processus cognitifs de conception, outils d'assistance à la conception, coopération en conception.

1 LA RESOLUTION DE PROBLEMES DE CONCEPTION

Les activités de conception se réalisent dans des domaines très divers. On pense d'emblée à l'architecture, à la conception mécanique et automatique ou au design. Mais les activités de conception concernent également de nombreux autres domaines, tels que la programmation informatique, la planification, la rédaction de textes (guides ou modes d'emploi, par exemple). Depuis les années 80, la psychologie ergonomique contribue à analyser comment les caractéristiques externes de ces tâches de conception (§ 1.1) déterminent la construction des représentations mentales élaborées par les concepteurs pour réaliser leur activité (voir § 2), dans les pratiques individuelles et collectives de conception. L'objectif ergonomique est de développer des outils et des dispositifs d'assistance aux concepteurs de ces domaines d'activité. L'étude de la dimension cognitive des activités de conception a débuté avec les travaux de précurseurs, comme Reitman (1964) et Eastman (1969), qui ont repris le cadre théorique de la "résolution de problème" développé pour les problèmes de transformation d'états par Newell et Simon (1972), en utilisant la méthode d'analyse des protocoles verbaux (Ericsson & Simon, 1984).

1.1 Caractéristiques des problèmes de conception

Diverses spécificités des problèmes "mal définis" de conception ont été identifiées (Simon, 1973 ; Greeno, 1978 ; Cross, 1986 ; Goel & Pirolli, 1989 ; Falzon et al., 1990) :

- Les problèmes tendent à être larges et complexes. On entend par là qu'ils ne sont pas circonscrits, généralement, à des problèmes locaux, et que les variables et leurs interrelations sont trop nombreuses pour pouvoir être scindées en sous-systèmes indépendants.
- Une conséquence de cette complexité est que la résolution de ces problèmes requiert de mettre en commun des compétences multiples, ce qui nécessite des collaborations au sein d'une même équipe.
- Les solutions à un problème de conception sont plus ou moins acceptables : il n'y a pas une seule « bonne » solution.
- On ne peut pas distinguer deux phases consécutives : analyse du problème, puis résolution de ce problème. Les deux s'effectuent en interaction : il n'y a pas "le" problème qui précède "la" solution.
- Il n'y a pas de chemin de résolution prédéterminé de conception : on connaît un certain nombre de procédures utiles et de méthodologies, on peut s'appuyer sur des projets similaires déjà traités ou sur des prototypes existants, mais il faut à chaque fois recombinaison, sinon réinventer, des stratégies pour élaborer une solution.
- L'évaluation des solutions est difficile à réaliser autrement que par un travail de simulation mentale, sur la base de représentations graphiques ou de maquettes rendant souvent mal la réalité. Elle est limitée du fait que la génération de toutes les solutions possibles est irréalisable et qu'il n'existe de métrique (ensemble de critères) objective. Comme elle est souvent différée à l'établissement de la solution finale, les éventuelles remises en question de choix de conception peuvent s'avérer fort coûteuses.

1.2 Qui est concepteur ?

Du fait des caractéristiques que l'on vient d'énoncer, on comprendra que l'ergonomie cognitive n'identifie pas les activités de conception par rapport à une fonction sociale ou un statut. Ce sont les caractéristiques formelles de certaines situations professionnelles qui permettent de qualifier l'activité de "conception". En conséquence, nombreux sont les partenaires du processus de conception qui peuvent être désignés comme des concepteurs. Bien sûr, on pense d'abord aux traditionnels métiers de la conception des bureaux d'étude et des bureaux des méthodes. Mais sont aussi concepteurs, par exemple, le rédacteur de "guidelines" informatiques ou l'ingénieur informaticien qui conçoit un programme.

2 PRESCRIRE LA CONCEPTION

2.1 Encadrer le processus : limitations des méthodes et des normes

L'appropriation de l'innovation technologique par les entreprises a conduit, dès le début du siècle, à encadrer les pratiques de conception au sein des entreprises. Au travers de la création de Bureaux d'Etudes internes aux entreprises, le processus de conception a été organisé en métiers et en filières, et il a été séquencé en trois grandes phases : étude de faisabilité (dont analyse de la valeur et analyse fonctionnelle), spécification technique des besoins (en phase d'avant-projet) et développement. C'est dans ce contexte que naît la tradition de l'ingénierie de conception (engineering design) où une approche systématique du processus est construite dans l'objectif de rendre le processus de conception plus efficace et plus performant. Des normes sont édictées (norme BS7000 en Grande-Bretagne, norme DIN ou VDI 2221/2 en Allemagne, norme AFNOR X50-127 en France) qui rationalisent le développement de produit sur la base de modèles normatifs. Ceux-ci constituent des représentations idéalisées du processus de conception, et ont inspiré des méthodes prescriptives pour concevoir (Pahl & Beitz, 1984).

L'efficacité de ces méthodes est cependant mise en doute par des enquêtes réalisées auprès d'entreprises européennes, américaines et asiatiques (Culverhouse, 1995) qui montrent que celles-ci ne

réussissent pas à maîtriser et à améliorer le processus de conception (en particulier, sa durée) avec autant d'efficacité qu'elles l'ont accompli pour le processus de production. D'autres études empiriques mettent en évidence le peu de certitude qu'on a sur le fait que les concepteurs suivraient réellement les procédures préconisées par les méthodologies de conception, même si ces concepteurs sont particulièrement experts et qu'ils ont été formés à ces méthodes. De plus, on constate que les concepteurs utilisant ces méthodes ne réussissent pas mieux que leurs collègues ayant une longue expérience mais n'utilisant pas de méthode systématique (Pahl et al., 1999, p. 482).

Enfin, les organisations classiques de la conception trouvent leurs limites dans le modèle linéaire et séquentiel du processus sur lequel elles s'appuient, mais qui se heurte à la démarche effective des concepteurs (Visser & Hoc, 1990 ; Darses, 1997). En effet, la séparation formelle que ces organisations introduisent entre l'analyse du problème (phases amont) d'une part, et la prise de décision et l'action (phases aval) d'autre part, est en contradiction avec l'interdépendance qui existe entre les deux phases de génération et évaluation de solutions. Ceci est montré dans de nombreuses études empiriques qui ont mis en lumière le caractère opportuniste de l'organisation de la conception (Visser, 1994). De plus, les modèles classiques se fondent sur l'hypothèse que la solution se développe au travers de transformations successives des données sur un axe abstrait-concret de description (du conceptuel au physique). Or les études cognitives ont montré que les concepteurs opèrent en coordonnant différents points de vue sur l'objet et en entremêlant les différents niveaux d'abstraction. Cette manière de faire peut en partie s'expliquer par la prégnance de la solution concrète (plutôt que conceptuelle).

L'application de ces méthodes apporte certains bénéfices et peuvent inspirer des propositions de "bonnes pratiques de conception" (Blessing, 1994 ; Pahl et al., 1999, p. 486). Ainsi, on, sait que le processus de conception profite d'une analyse complète du but lors de l'étape initiale du projet et lors de la formulation des sous-but. On sait qu'on a intérêt à produire d'abord un ensemble de solutions différentes adoptant différents points de vue, avant de sélectionner une seule solution à développer en profondeur. On sait enfin qu'il est mieux de rester à un niveau abstrait de formulation de la conception et de ne pas se compromettre trop vite dans le développement des solutions.

2.2 Evolutions socio-techniques et socio-cognitives de la conception

La conception a connu d'importantes évolutions socio-techniques et socio-cognitives depuis ces vingt dernières années. Les activités collectives de conception ont pris une place majeure dans le processus de développement du produit. Simultanément, les instruments de conception (traditionnellement dessin et maquettage) ont connu une évolution majeure du fait de la puissance croissante des outils informatiques - outils de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) - dont les caractéristiques ont fortement modifié non seulement le processus global de conception, mais aussi les activités des concepteurs.

2.2.1 La conception par projet : le rôle croissant des activités collectives

Sous la pression conjuguée des facteurs temps, qualité et coût, sont apparues des rationalisations de la conception dont l'objectif est d'écraser la structure linéaire et séquentielle du processus de conception et de favoriser la conception simultanée et intégrée des produits et de leurs méthodes et procédés de fabrication. L'organisation par projet apparaît dans les années 1960-1980 aux Etats-Unis, sous la dénomination "ingénierie concurrente". Dans cette organisation de la conception, un rôle central est dévolu au chef de projet et les liens de collaboration sont resserrés entre les différents acteurs de la conception, qui sont regroupés autour du projet en équipes intégrées.

Du point de vue cognitif, un processus concourant de conception devrait favoriser :

- l'explicitation, la confrontation et la convergence des différents points de vue lors du développement de solutions, du fait de la diversité des acteurs impliqués (grâce à l'éclatement des filières métiers) ;
- la dissociation entre le phasage contractuel et la nature des solutions produites, au profit de l'élaboration de solutions intégrant différents niveaux d'abstraction.

Le développement d'outils d'assistance capables d'offrir aux concepteurs des fonctionnalités répondant à ces besoins représente un défi pour la psychologie cognitive ergonomique. La question se pose de formuler des recommandations ergonomiques, basées sur l'analyse des activités cognitives des concepteurs, qui permettent de contribuer à la conception d'outils offrant une assistance effective.

2.2.2 Renforcement des structures de conception participative

La participation des utilisateurs à la conception est une pratique dont la nécessité se confirme aujourd'hui avec la rationalisation de la conception en projets. Elle répond à des motivations diverses, mais complémentaires, qui s'inscrivent dans deux acceptions du terme "utilisateur" : les utilisateurs futurs du produit en cours de conception et les utilisateurs du système de production. Les premiers sont extérieurs à l'entreprise et peuvent être conviés comme consultants et conseillers à propos du produit en cours de développement ; les seconds sont salariés de l'entreprise et sont les utilisateurs des dispositifs de fabrication du produit (opérateurs de fabrication). Dans les deux cas, le développement de cadres pour la conception participative est nécessaire.

Du point de vue cognitif, la conception participative renvoie à la modélisation des dimensions collectives de la conception. Les questions centrales portent sur la façon dont on peut intégrer, lors des décisions de conception, les points de vue de ces utilisateurs. Les résultats des études cognitives doivent contribuer à la mise au point de méthodes et de dispositifs destinés en particulier au chef de projet, qui favorisent l'explicitation des points de vue et la gestion des compromis (Darses et al., 2001 ; Reuzeau, 2000 ; Cahour et al., 2001).

3 ASSISTER LA CONCEPTION : QUELQUES ELEMENTS DE REPONSE

Dans cette section, nous nous centrons sur quelques-uns des processus qu'il nous semble crucial d'assister. Dans une première partie, nous mettrons l'accent sur des besoins d'assistance qui sont récurrents, quel que soit le modèle d'organisation préconisé (séquentiel ou concourant) pour la conception: ce sont les besoins d'assistance des phases amont de la conception. Dans une seconde partie, nous identifions des besoins d'assistance nouveaux, soit parce qu'ils apparaissent dans les nouvelles organisations de la conception (besoin d'assister la coopération), soit parce qu'ils sont reconnus depuis peu par les entreprises et constituent des enjeux économiques (besoins de traçabilité). Nous formulerons les préconisations de la psychologie cognitive ergonomique pour répondre à ces besoins, en rappelant les études qui les fondent.

3.1 Les phases amont de la conception : des problèmes récurrents

En phase amont de la conception, on trouve deux besoins d'assistance récurrents, quels que soient l'organisation de la conception et le modèle de conception prescrit : assister l'identification des besoins et assister l'élaboration des solutions conceptuelles.

3.1.1 Assister l'identification des besoins

Identifier les besoins (techniques et humains) qui guideront la rédaction du cahier des charges est la première phase de la conception qui nécessite des outils d'assistance. La méthodologie d'analyse fonctionnelle (réalisée en amont de la spécification technique des besoins - norme NF X50-151) est l'instrumentation classique de cette phase. Son principe est de dresser en amont de la conception la liste des fonctions auxquelles le produit devra satisfaire pour répondre aux besoins des utilisateurs et aux exigences de l'environnement. Son but est d'encourager l'innovation technologique, en passant systématiquement en revue toutes les situations dans lesquelles ce produit est susceptible d'être au cours de son cycle de vie et en évitant d'évoquer d'emblée une solution concrète.

Cependant, on a constaté (Darses, 1997 ; Nicolas, 2000) que l'analyse fonctionnelle entre en contradiction avec les processus cognitifs effectivement mis en œuvre par les concepteurs. En effet, l'idée d'accomplir la phase d'analyse du problème avant de passer à la phase de recherche de la solution ne tient pas compte de l'activité cognitive de résolution des problèmes de conception (voir § 1.1 et 3.1) qui s'opère par itération des phases « définition de problèmes »/« élaboration de solutions ». Par ailleurs, la méthode d'analyse fonctionnelle suppose que l'on reste à un niveau abstrait de définition de l'artefact : ce principe va à l'encontre de l'importance des niveaux concrets de solution, dont l'évocation permet aux concepteurs de juger les contraintes et les critères en simulant le fonctionnement de l'objet. Il en résulte que l'analyse fonctionnelle est souvent vue comme un passage procédural obligé dans le processus de conception plutôt que comme une ressource pour mieux intégrer les besoins des futurs utilisateurs.

Dans cette dernière perspective, les résultats d'études d'ergonomie cognitive peuvent contribuer à infléchir la méthode d'analyse fonctionnelle. Celle-ci peut dans un premier temps être modifiée de façon à favoriser l'évocation de l'usage futur du produit, plutôt que ses fonctions générales (Nicolas, 2000). Une analyse du travail (en situation réelle ou en situation de référence) permet que les résultats de l'analyse fonctionnelle soient énoncés sur la base d'une analyse *constatée* des besoins de l'utilisateur, et non d'une analyse *supposée*. Mais cette méthode est souvent inadaptée dans les situations de conception innovante, du fait de l'impossibilité d'accéder à une situation de référence. L'analyse fonctionnelle doit alors reposer sur la mise en place d'actions de conception participative, au cours desquelles les utilisateurs travailleront sur la simulation d'états intermédiaires du dispositif conçu. Sur cette base, les futurs utilisateurs évalueront l'utilisabilité du dispositif et on pourra alors établir un pronostic des besoins futurs. Toutefois, le choix des supports de ces simulations n'est pas simple : les maquettes réelles ne sont pas toujours appropriées, parce qu'elles sont peu – voire pas – évolutives et qu'elles introduisent des biais de représentations. L'utilisation de scénarios est beaucoup plus riche. A ce sujet, Poveda & Thorin (2000) ont montré que le choix du point de vue adopté par le scénario (scénario fondé sur une vision fonctionnelle ou au contraire structurelle du futur artefact) va susciter chez les futurs utilisateurs des évocations très inégales des usages. En particulier, et contre-intuitivement, les auteurs constatent que les scénarios fonctionnels restreignent beaucoup plus le champ des simulations et favorisent moins d'évocations des usages.

3.1.2 La génération des solutions : le problème des phases amont

Les phases amont de la conception, notamment celles dites de "conception conceptuelle" (en référence à la hiérarchie d'abstraction proposée par Rasmussen, 1994, où l'artefact est traité à des niveaux abstraits de représentation) occupent 5% du processus de conception, mais engagent plus de 75% des coûts globaux du produit (Carrubba, 1993, cité dans Sharpe, 1995). Assister ces phases est donc un enjeu ergonomique, mais aussi économique.

Des représentations de différentes natures sont mises en œuvre au cours des diverses phases de la conception. Elles diffèrent notamment quant au domaine de référence, aux niveaux de raffinement et d'abstraction, et aux points de vue. En ce qui concerne ces niveaux, si on prend l'exemple de la

conception architecturale, le type de production graphique varie en fonction de l'étape de conception dans laquelle l'architecte est engagé : dans les étapes initiales, l'architecte travaille avec des productions floues afin d'éviter une réduction de l'incertitude trop précoce. Le pouvoir des esquisses à favoriser l'évocation de nouvelles idées n'invalide pas l'utilité de dessins plus précis : l'esquisse peut paraître imprécise, mais le concept correspondant dans la tête du concepteur ne l'est pas (Van Dijk, 1995)!

Selon les domaines, les outils CAO sont utilisés avec plus ou moins de succès pour ces phases amont de la conception. En électronique, où la conception (et la fabrication) de circuits intégrés et de cartes imprimées se fait principalement à partir de composants et de structures d'assemblage préexistants, ces outils peuvent être utiles dès ces phases amont. En mécanique, dès que l'on sort de la conception répétitive, la CAO n'est pas (encore) capable d'offrir une assistance effective pour ces phases amont (Van Dijk, 1995) et n'est utilisée qu'une fois la conception conceptuelle terminée. Ceci vaut également dans les domaines de l'architecture et du bâtiment (Flemming et al., 1997). Il n'existe donc pas d'outils assistant le travail d'esquisse, activité pourtant essentielle pour la conception. Les études cognitives ont conduit à la formulation de spécifications pour développer des systèmes d'assistance à ces phases amont de la conception, que, jusqu'ici, seuls certains prototypes de recherche ont pris en compte (Flemming et al., 1997, p. 350) :

- faciliter une entrée de données par mouvements de la main ;
- permettre l'entrée de données imprécises ;
- autoriser le passage entre niveaux et entre types de représentation ;
- aider à la comparaison entre différents concepts de solution ;
- faire des suggestions (au lieu de stocker les décisions prises) ;
- aider à évaluer des choix par un feedback au concepteur (par exemple, par des systèmes critiques).

3.2 Nouveaux besoins d'assistance

Les nouvelles organisations de la conception induisent de profondes transformations du processus de développement du produit, et en particulier, accroissent les activités de coopération entre les partenaires en rassemblant autour du projet des personnes de statut et d'expertise souvent inégaux, porteurs de logiques d'actions hétérogènes (Terressac & Friedberg, 1996). En outre, la nécessité de capitaliser les compétences de l'entreprise impose de plus en plus fréquemment de tracer la logique de conception du produit et de capitaliser les savoirs construits par l'expérience. Sur ces points, la psychologie cognitive ergonomique peut apporter des éclairages utiles à la conception de systèmes d'aide.

3.2.1 Assister la coopération

Dans les organisations traditionnelles, c'est une "version faible de la coopération" (Zarifian, 1996) qui prévaut, dont l'objectif est d'assurer une bonne coordination du travail tout en préservant le principe de séparation des tâches et des responsabilités. Mais dès lors qu'on met en place une équipe intégrée, les acteurs de la conception sont tenus de coopérer beaucoup plus étroitement que par le passé dans des groupes techniques à géométrie variable, de façon peu formalisée et peu outillée. Dans cette "version forte de la coopération" (Zarifian op.cit.), les situations de co-conception obligent les partenaires de la conception à se synchroniser cognitivement pour développer conjointement la solution (Darses & Falzon 1996).

Du point de vue cognitif, les activités de synchronisation cognitive visent à construire un référentiel opératif commun, appelé aussi "espace d'intersubjectivité" (Zarifian, op.cit.). On a montré (Falzon & Darses, 1992 ; D'Astous et al., 1998 ; Darses et al., 2000) que les activités cognitives principales qui

contribuent à la synchronisation cognitive sont des activités (i) d'évaluation mutuelle des solutions et des buts proposés, (ii) de partage d'information sur le but courant, sur les pratiques de conception ou sur les connaissances du domaine, (iii) d'enrichissement des solutions. Ces activités se réalisent au travers de la gestion des divers "objets" de conception (buts, solutions, connaissances du domaine, connaissances procédurales, connaissances sur l'état initial du problème, critères) grâce à des "actions cognitives" (telles que *générer, évaluer, informer*).

Ces activités (qui peuvent être synchrones, lorsque les réunions se font en présentiel, ou asynchrones, lorsque les co-concepteurs coopèrent via des environnements coopératifs informatisés), entraînent des mécanismes d'argumentation, qui opèrent par la confrontation et l'intégration des points de vue des co-concepteurs et permettent de converger vers les meilleurs compromis de solutions. Une analyse du processus argumentatif se déroulant dans des réunions multi-métiers (Martin et al., 2001) a mis en évidence le recours à trois modes d'évaluation, combinés entre eux le plus souvent : mode analytique, mode comparatif et mode analogique. Cette analyse conduit à des recommandations ergonomiques pour des outils de type collectif, où les modes d'évaluation analytique et comparatif sont souvent les seuls préconisés, et renvoie également à l'importance d'une meilleure traçabilité du processus de conception. Ces recommandations doivent s'accompagner de réponses organisationnelles, comme l'identification de nouveaux métiers permettant de médiatiser la communication (Darses, à paraître(a)), au sens des "boundary spanners" (Grinter, 1999) ou des acteurs d'interface (Moison & Weill, 1996).

Ces résultats devront aussi contribuer au besoin croissant des co-concepteurs de disposer d'environnements coopératifs qui permettent aux acteurs géographiquement dispersés de travailler en asynchrone (via internet/intranet) sur des systèmes d'innovation technologique. Les réponses techniques actuellement développées sont (i) les bases de données multimédia, (ii) les systèmes à bases de connaissances, (iii) les collecticiels à base argumentative (Lonchamp, 2000 ; Matta et al., 2000), (iv) les méthodes d'annotation "d'objets de coopération" (Blanco et al., 1996) permettant une coopération autour de représentations construites lors de la conception (comme les méthodes d'annotation de maquette numérique).

3.2.2 Conserver la logique de conception

La "logique de conception" (*design rationale*) renvoie à la nécessité de conserver et de tracer les raisons qui ont conduit à la validation ou au rejet d'une solution de conception, dans l'objectif de faciliter et de fiabiliser la réutilisation de solutions passées. Ce concept répond au besoin de décrire le chemin parcouru entre l'énoncé d'un problème et le choix d'une solution par l'objectivation des pratiques des concepteurs. Les documents de logique de conception constituent un support pour la reconception ou la maintenance des systèmes, et permettent de (Concklin & Burgess-Yakemovic, 1991 ; Buckingham Shum & Hamond, 1994 ; Moran & Carroll, 1996 ; Karsenty, 2001):

- structurer les problèmes de conception ;
- maintenir une meilleure cohérence dans la prise de décision ;
- conserver des traces des décisions ;
- communiquer son contenu à d'autres personnes ;
- conserver une trace chronologique du processus de conception ;
- établir des conditions pour la réutilisation.

Cette approche a été initiée en réaction aux processus de conception purement orientés *artefact* au cours desquels l'accent était mis sur la production et la traçabilité des artefacts de conception dans leurs différents états d'avancement, de la spécification au système final. En revanche, le processus par lequel ces différents états de l'artefact avaient été produits restait implicite, indirectement accessible dans les comptes rendus de réunions, les notes de conception, les archives email et principalement, la mémoire des concepteurs, ce qui rendait ce processus difficile à récupérer et à réutiliser. Ce n'est pas parce qu'ils les ont élaborées eux-mêmes que des concepteurs se rappellent des procédures. Ainsi, on a

observé, par exemple, que des concepteurs reconstituaient, mentalement et sur papier, une procédure de résolution suivie dans un projet antérieur, l'un d'eux en étant l'auteur. Ils avaient besoin de cette procédure parce qu'elle contenait des informations, notamment les justifications de certains choix nécessaires pour pouvoir adapter la solution-source. (Visser, 1999).

Tracer la logique de conception, c'est établir une représentation du raisonnement sous-tendant la conception de l'artefact. Plusieurs notations ont été développées afin de pouvoir exprimer le raisonnement de conception sous forme d'arguments et de problèmes/questions comme par exemple, QOC (Maclean et al., 1991) et IBIS (Fischer et al., 1991) En se basant sur des résultats empiriques, Buckingham et al. (1994) ont fait le point sur l'utilité et l'utilisabilité de ces techniques dans les réunions de conception. En résumé, la construction de la logique de conception est en elle-même une activité de conception (Sauvagnac et al, 2000). De plus, l'utilisabilité des notations appliquées est mise en cause par certaines études qui montrent que l'utilisation des schèmes semi-formels requis pour exprimer la connaissance demande un effort particulier pour des utilisateurs.

Une autre limite de ces techniques est de supposer qu'un terme utilisé pour exprimer une contrainte (ou critère) recouvre la même signification pour les concepteurs. Or des études (Darses & Sauvagnac, 1998 ; Martin et al. 2001 ; Darses (à paraître (b)) montrent que les représentations et pondérations des contraintes utilisées pour évaluer les solutions varient selon les métiers et le problème à traiter : ainsi le recueil des contraintes (ou critères) doit rendre de ce caractère polysémique et de cette "poly-pondération". Des outils d'assistance pourraient par exemple opérer en pondérant les contraintes et les critères d'évaluation des solutions en fonction de deux dimensions orthogonales : d'une part, les champs d'application auxquels contraintes et critères appartiennent et d'autre part, les niveaux d'abstraction auxquels ces contraintes et critères sont formulés.

4 CONCLUSION

Après ce rapide parcours, orienté par la dimension collective de la conception et structuré autour du type d'organisation —soit séquentiel soit concourante— du processus de conception, il faut rappeler le caractère non exhaustif de ce bref état de l'art. D'autres besoins existent, par exemple : assistance à la gestion de contraintes, à la planification, à l'évaluation, à la réutilisation, à la prise de décision.

5 REFERENCES

- Blanco, E., Garro, O., Brissaud, D., & Jeantet, A. (juillet 96). *Intermediary object in the context of Distributed Design*. Proceedings of CESA'96 Colloque IEEE-SMC, Lille.
- Blessing, L. T. M. (1994). *A process-based approach to computer-supported engineering design*. Enschede: Universiteit Twente.
- Buckingham Shum, S., & Hammond, N. (1994). Argumentation-based design rationale: what use at what cost? *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, 603-652.
- Cahour, B., Darses, F., & Poveda, O. (2001). *Modéliser et favoriser l'intégration des points de vue des co-concepteurs. Le cas de la conception d'une centrale de découpe en plasturgie automobile* (Rapport technique du projet INTÉGRE). Paris: CNAM.
- Concklin, E. J., & Burgess-Yakemovic, K. C. (1991). A Process-Oriented Approach to Design Rationale. *Human-Computer Interaction*, 6, 357-391.
- Cross, N. (1986). Understanding design: the lessons of design methodology. *Design Methods and Theories*, 20(2), 409-438.
- Culverhouse, P. F. (1995). Constraining designers and their CAD tools. *Design Studies*, 16(1), 81-101.
- Darses, F. (1997). L'ingénierie concourante: Un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs en conception. In P. Brossard, C. Chanchevier, & P. Leclair (Eds.), *Ingénierie Concourante. De la technique au social*. Paris: Economica.

- Darses, F. (à paraître)(a) A framework for continuous design of production systems and its application in collective redesign of production line equipment. To appear in *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*
- Darses, F. (à paraître)(b) Trois conditions socio-techniques pour l'optimisation de la conception continue du système de production (à paraître dans la *Revue Française de Gestion Industrielle*).
- Darses, F. & Falzon, P. (1996) La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. In G. de Terssac et A. Friedberg (Eds). *Coopération et Conception*. Octarès : Toulouse.
- Darses, F., & Sauvagnac, C. (1998). *Conception continue du système de production: enjeux et mise en oeuvre* (Rapport final du Projet CNAM-UGINE). Paris: CNAM.
- Darses, F., Cahour, B., Poveda, O., André-Thorin, F. Delabie, J. B., Pecheux, V. (2001) Quelles Conditions Pour La Participation Des Operateurs A La Conception De Leurs Dispositifs De Fabrication ? Actes de la conférence SELF 2001, Montréal, Canada, 3-5 octobre 2001.
- Darses, F., Détiennne, F., Falzon, P., & Visser, W. (2000). *A method for analysing collective design processes*. Proceedings of ECCE 10, 10th European Conference on Cognitive Ergonomics, Linköping (Sweden), 21-23 August 2000.
- D'Astous, P., Détiennne, F., Robillard, P. N., & Visser, W. (1998, 26-29 Mai). *Types of dialogs in evaluation meetings: an analysis of technical-review meetings in software development*. Paper presented at the Third International Conference on the Design of Cooperative Systems, Cannes, France.
- Dijk, C. G. C. van (1995). New insights in computer-aided conceptual design. *Design Studies*, 16(1), 62-80.
- Eastman, C. (1969). *Cognitive processes and ill-defined problems: a case study of design*. Proceedings of IJCAI 69, pp.669-690.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1984). *Protocol analysis : verbal reports as data*. (revised 1993 ed.). Cambridge Massachussets: The MIT Press.
- Falzon, P. & Darses, F. (1992) Les processus de coopération dans des dialogues d'assistance. *Actes du Congrès de la SELF 92* , Lille, 23-25 Septembre
- Falzon, P., Bisseret, A., Bonnardel, N., Darses, F., Détiennne, F., & Visser, W. (1990). *Les activités de conception : L'approche de l'ergonomie cognitive*. Actes du Colloque "Recherches sur le Design", Compiègne.
- Fischer, G., Lemke, A. C., McCall, R., & Morch, A. I. (1991). Making argumentation serve design. *Human-Computer Interaction*, 6(3&4), 393-419.
- Flemming, U. B., Suresh K. John, Bonnie E. (1997). Mismatched metaphor: User vs system model in computer-aided drafting. *Design Studies*, 18(4), 349-368.
- Goel, V., & Pirolli, P. (1992). The Structure of Design Problem Spaces. *Cognitive Science*, 16, 395-429.
- Greeno, J. G. (1978). Natures of problem-solving abilities, *Handbook of Learning and Cognitive Processes* (Vol. 5, pp. 239-270). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Grinter, R. (1999). *Systems Architecture: Product Designing and Social Engineering*. Proceedings of WACC'99, San Francisco, CA.
- Karsenty, L. (2001) Méthodes pour la création de mémoires de projet en conception. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 20 (1), 35-51.
- Lonchamp, J. (2000). *Generic computer support for Concurrent Engineering*. Proceedings of CE/2000. Advances in Concurrent Engineering. Seventh ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Lyon, 17-20 July.
- MacLean, A., Young, R. M., Bellotti, V., & Moran, T. (1991). Questions, Options, and Criteria: elements of design space analysis. *Human-Computer Interaction*, 6(3&4), 201-250.
- Martin, G., Détiennne, F., & Lavigne, E. (2001, July 9-13). *Analysing viewpoints in design through the argumentation process*. Proceedings of Interact 2001, Tokyo, Japan.
- Matta, N., Lewkowicz, M., & Zacklad, M. (Eds.). (2000). *Cooperative models based on argumentation in problem solving*. Proceedings of the COOP 2000 Workshop, Sophia-Antipolis, France, May 23.
- Moisdon, J. C., & Weil, B. (1996, 2-4 avril). *Dynamique des savoirs dans les activités de conception: faut-il compléter la gestion de projet ?* Actes du 5ème Congrès International de Génie Industriel, Grenoble.

- Moran, T. P., & Carroll, J. M. (Eds.). (1996). *Design Rationale. Concepts, techniques, and use*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Nicolas, L. (2000). *L'activité de simulation en analyse fonctionnelle: vers des outils anthropocentrés pour la conception de produits automobiles* (Thèse de Doctorat, Spécialité Ergonomie). Paris: Conservatoire National des Arts et Métiers.
- Norme NF X50-151 (1991-96). Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle. Paris: AFNOR.
- Pahl, G., & Beitz, W. (1984). *Engineering design*. London: The Design Council.
- Pahl, G., Badke-Schaub, P., & Frankenberger, E. (1999). Resume of 12 years interdisciplinary empirical studies of engineering design in Germany. *Design Studies, Special Issue "Empirical Studies of Engineering Design in Germany"*, 20 (5), 481.
- Poveda, O., & Thorin, F. (2000, May 23-26). *Use of scenarios to integrate cooperation in design*. Proceedings supplement of COOP 2000, Sophia-Antipolis, France.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M. & Goodstein, L. P. (1994) *Cognitive systems engineering*. John Wiley and Sons.
- Reitman, W. (1964). Heuristic decision procedures, open constraints, and the structure of ill-defined problems. In M. W. Shelley & G. L. Bryan (Eds.), *Human judgments and optimality*. New York: Wiley.
- Reuzeau, F. (2000) *Assister l'évaluation participative des systèmes complexes. Rôle des savoirs et savoir-faire des utilisateurs dans la conception d'un poste de pilotage* (Thèse de Doctorat, Spécialité Ergonomie). Paris: Conservatoire National des Arts et Métiers.
- Sauvagnac, C., Falzon, P., & Leblond, R. (2000). La mémoire organisationnelle: reconstruction du passé, construction du futur. In J. Charlet, M. Zacklad, G. Kassel, & D. Bourigault (Eds.), *Ingénierie des connaissances. Evolutions récentes et nouveaux défis*. Paris: Eyrolles.
- Sharpe, J. E. E. (1995). Computer tools for integrated conceptual design. *Design Studies*, 16(4), 471-488.
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-201.
- Terssac (de), G. & E. Friedberg (Eds). *Coopération et Conception*. Octarès : Toulouse.
- Visser, W. (1994). Organisation of design activities: oportunistic, with hierarchical episodes. *Interacting with computers*, 6(3), 239-274 (Executive summary: 235-238).
- Visser, W. (1999). Etudes en ergonomie cognitive sur la réutilisation en conception: quelles leçons pour le raisonnement à partir de cas? *Revue d'Intelligence Artificielle, N° spécial "Raisonnement à partir de cas"*, 13, 129-154.
- Visser, W., & Hoc, J.-M. (1990). Expert software design strategies. In J.-M. Hoc, T. Green, R. Samurçay, & D. Gilmore (Eds.), *Psychology of programming* (pp. 235-250). London: Academic Press.
- Zarifian, P. (1996). *Travail et communication. Essai sociologique sur le travail dans la grande entreprise industrielle*. Paris: PUF.

La conception collaborative d'artefacts

Activités cognitives en situation dialogique

Nicolas Grégori
CODISANT – LPI-GRC
IUT Nancy-Charlemagne
2ter Boulevard Charlemagne
54052 Nancy cedex
gregori@univ-nancy2.fr

Christian Brassac
CODISANT – LPI-GRC
Université Nancy 2
BP33-97
54015 Nancy cedex
brassac@univ-nancy2.fr

RESUME

Nous étudions des situations où un petit nombre de sujets humains conçoivent collaborativement un produit (manufacturé, textuel, graphique ou logiciel). La démarche relève d'une clinique de la conception en ce sens où il s'agit d'observer la dynamique de construction des cognitions advenant dans des situations captées à l'aide de la vidéo sur leurs lieux naturels d'occurrence. En nous appuyant sur les thèses dialogiques d'une part, et sur le paradigme de la cognition située et distribuée d'autre part, nous analysons le processus de conception en tant qu'il est engendré à la fois par la dynamique conversationnelle (enchaînement de formes langagières) et la mobilisation des objets constituant la matérialité de l'environnement de travail.

MOTS-CLES

Cognition située et distribuée, activités cognitives conjointes, objet intermédiaire, conception de produit, analyse de conversations.

1 INTRODUCTION

L'activité de conception est un processus cognitif. Un sujet humain conçoit quelque chose quand il forge une idée, quand il façonne un objet, quand il élabore un texte, quand il compose une forme (un entrechat, une mélodie, un plat, un tracé, etc.), quand il accomplit toute action un tant soit peu inédite. Processus cognitif par excellence, cette activité, que l'on pourrait qualifier de génération de formes significantes, s'inscrit dans un espace intersubjectif ; inscription dont Vygotsky (1934 / 1985, par exemple) redit à l'envi et avec force le caractère primordial dès lors que l'on envisage l'appréhension de ce processus cognitif dans un objectif d'intelligibilité. Cette inscription transcende la situation concrète dans laquelle s'actualise la suite des agissements de l'auteur-acteur de la conception ; même si elle est produite en position monologique, la séquence des actions du concepteur est marquée par l'autre, par les autres (commanditaires, utilisateurs, manufacturiers, évaluateurs, etc.). De la même façon que tout discours monologique ne peut faire l'économie d'un *auditoire*, le geste cognitif de conception est *adressé* (Bakhtine, 1929 / 1977). De plus, ce type de geste, même exprimé individuellement, appartient à une histoire marquée par les activités antécédentes, réalisées par le même acteur ou par d'autres concepteurs. C'est dire que le motif interactionniste est central dès qu'il s'agit d'aborder ce type de processus cognitif, tant l'*alter ego* est présent dans son développement. C'est dans cette perspective que nous situons l'ensemble des travaux que nous conduisons relativement aux situations de conception que nous qualifierions de collaboratives ou de conjointes (plutôt que collectives). Autrement dit, nous proposons là une réflexion ancrée dans une posture résolument dialogique et interactionniste.

On a déjà dit en quoi le constructivisme vygotkien était colinéaire au dialogisme bakhtinien (Clot, 1999a). L'analyse de l'activité de conception advenant en position polylogale donne l'occasion d'explorer empiriquement ce rapprochement. En tenant pour première la relation intersubjective, en préconisant la nécessité d'une co-présence, en prônant l'analyse de l'intrication des dire et des faire dans l'engendrement des cognitions en interaction, nous nous intéressons à des situations intersubjectives où co-agissent des acteurs possédant des expertises différenciées. Pour ce faire, nous provoquons des situations de conception où des sujets humains travaillent en collaboration pour 'inventer' un produit manufacturé, pour élaborer un outil multimédia, pour rédiger un texte, pour dessiner un graphe, etc. Ainsi nous donnons-nous l'occasion de recueillir, dans un milieu le plus proche possible du lieu d'élaboration habituel (en entreprise), un corpus d'activités susceptibles d'être observées et analysées.

Nous nous proposons ici de mettre en perspectives un certain nombre de travaux que nous avons conduits relativement à ce type d'activités cognitives collectives. Nous donnerons dans un premier temps le cadre épistémologique et théorique de l'approche que nous défendons (*Un 'dialogisme de l'effectué' pour les activités collaboratives de conception*). En décrivant les différents corpus que nous avons recueillis et travaillés, nous exposerons rapidement la méthodologie d'analyse des activités complexes que nous préconisons (*Pour une clinique de la conception*). Nous terminerons en mettant en avant l'importance de l'intégration de la catégorie 'objet intermédiaire' dans l'étude du geste cognitif humain et ce, en insistant sur le fait que la mobilisation de la matérialité qui conforme l'environnement du travail de la conception, supporte (et est constitutif de) l'engendrement des cognitions conduisant à l'issue du processus (*Objet intermédiaire et co-conception*).

2 UN 'DIALOGISME DE L'EFFECTUE' POUR LES ACTIVITES COLLABORATIVES DE CONCEPTION

2.1. Appréhender la conjugaison des dire et des faire

Soit un petit groupe de sujets humains, mis en position de concevoir un artefact. Placés autour d'une table, ayant à disposition une feuille de papier et/ou un ordinateur, ils ont à écrire un texte, à imaginer un dispositif ou à élaborer une représentation graphique. Pour ce faire, ils agissent en parlant et en mobilisant des objets. Ils accomplissent un ensemble d'activités qui prennent des significations eu égard à leur tâche commune, créer 'quelque chose'. Sans doute marquées par des aspects socio-émotionnels (Bales, 1950), par les caractéristiques du groupe social constitué (Steiner, 1972), ces activités sont néanmoins typiquement cognitives. En tant que psychologues sociaux des processus cognitifs, nous appréhenderons cette suite d'agissements comme un enchaînement d'actions ancrées à la fois dans un espace intersubjectif et dans une matérialité concrète environnante.

En nous attachant à cette construction de significations en situation naturelle (*versus* expérimentale), nous suivons Bruner qui soutient que l'objet de la psychologie devrait être la construction contextuelle et culturelle des significations et qui prône l'analyse de la dynamique intersubjective *en train de se faire* (Bruner, 1991, 1999). De façon colinéaire, nous adoptons la démarche que défend Vygotky en matière d'analyse de la médiation instrumentale. En effet, nous examinons cette construction processuelle des significations en nous centrant sur le caractère éminemment médiateur des objets. En l'occurrence, c'est plus précisément le projet de Rabardel qui nous retient. Insatisfait du traitement que fait Vygotky de la catégorie 'instrument', cet auteur reprend la conceptualisation de cette catégorie à nouveaux frais. Pour envisager une théorie instrumentale étendue, voire généralisée, Rabardel (1999, p. 265) place l'instrument au cœur de la rencontre entre l'artefact et l'activité propre du sujet. Plus, selon lui, « l'instrument contient, sous une forme spécifique, l'ensemble des rapports que le sujet peut entretenir avec la réalité sur et dans laquelle il permet d'agir, avec lui-même et avec les autres » (1999, p. 262). Dans les exemples que nous présenterons plus loin, les instruments que nous verrons présents dans l'espace mondain de la conception sont des moyens de traçage, directs tels le crayon, le stylographe, ou moins directs tels le clavier ou la souris. Ils sont mobilisés par les acteurs autant que sont consultées les ressources documentaires qui sont à leur disposition. L'ensemble de ces dispositifs symboliques et techniques sont au cœur des processus en ce sens où, nous essayerons de le montrer, ils contribuent activement à

la génération des cognitions. Cette génération est une véritable histoire événementielle des activités réelles des sujets humains en situation. Cette histoire s'inscrit dans un espace mondain donné. Cette histoire se déploie *via* un usage interactionnel du langage. Autrement dit, elle se construit en s'appuyant d'une part sur une dynamique interlocutoire, conversationnelle, et, d'autre part, en s'ancrant sur une chaîne d'actions, non verbales, corporelles (et donc gestuelles), opérant sur la matière physique qui constitue ce monde d'occurrence de l'histoire. Plus simplement dit, l'activité collaborative qui est sous les yeux de l'analyste, s'articule en enchaînements de dire et de faire¹.

2.2. Vers un 'dialogisme de l'effectué'

En insérant l'instrument au sein de la relation entre le sujet et lui-même, entre le sujet et les autres, Rabardel emboîte le pas de Bakhtine, en le dépassant. La position assumée par cet auteur (*cf. supra*) est en effet parfaitement dialogique en ce qu'elle met au centre le rapport du 'je' avec lui-même ainsi que le rapport du 'je' avec l'autre 'je'. Autrement dit, c'est le primat de la relation qui est ici allégué ; primat de la relation qui traverse toute la thèse jacquéenne relative à l'espace interlocutoire (Jacques, 1985, 2000, par exemple) et qui fonde sa façon de thématiser le dialogisme. On connaît la position de Jacques vis-à-vis des travaux de Bakhtine : « je dois beaucoup à M. Bakhtine, mais il n'est pas à mon gré » (1985, p. 102). Qualifiant le dialogisme bakhtinien de moyen (car plus intertextuel qu'inter-subjectif), ce dernier revendique un dialogisme fort dont l'objectif est d'installer l'intersubjectivité au centre de la réflexion relative aux mécanismes discursifs². Ceci étant, on retrouve dans la position très vygotkienne de Rabardel cette parenté conceptuelle frappante entre les deux chercheurs soviétiques qui n'ont cependant pas eu de liens entre eux³. Plusieurs chercheurs l'ont relevée. Ainsi Deleau qui affirme que « la dimension dialogique de l'activité verbale [est] fondamentale chez Vygotki » (1999, p. 102) ou Clot qui écrit que « sur ce problème des rapports entre internalisation et externalisation on ne peut que noter la proximité des préoccupations de Vygotki et Bakhtine » (1999b, p. 167).

Il est clair que la convergence des thèses de ces chercheurs est patente. Ainsi Jacques (2000) qui préfère un : « ce n'est pas moi qui parle, c'est nous disons »... que Bakhtine aurait pu écrire. Tout comme ce dernier a pu ainsi caractériser l'idée :

« L'idée (...) n'est pas une formation subjective individuelle et psychologique, avec une "résidence fixe" dans la tête de l'homme ; elle est interindividuelle et intersubjective (...). Prise ainsi, elle est semblable au mot, avec lequel elle forme une unité dialectique » (Bakhtine, 1929 / 1970, p. 137).

Ou comme Vygotki a pu dire de la pensée :

« La pensée ne s'exprime pas dans le mot mais se réalise dans le mot. C'est pourquoi on pourrait parler d'un devenir de la pensée dans le mot. (...) Ce déroulement de la pensée s'opère sous la forme (...) d'un passage de la pensée dans le mot et du mot dans la pensée » (Vygotki, 1934 / 1985, p. 329).

Reste que l'on peut regretter que ces arguments soient entièrement dédiés au mot. Car, il faut bien le dire, nous sommes là dans un tout-langagier (ou tout au moins dans un tout-textuel ou un tout-discursif). Comme nous l'avons déjà dit, nous sommes confrontés, en tant que psychologues de l'activité cognitive humaine en train de se faire, à des humains qui parlent certes, mais aussi agissent sur le monde matériel : les dire et les faire. Mais alors, faut-il envisager une dialogisation plus large qui intègre corps, gestes, manipulations d'objets et traçages sur le monde ?

C'est précisément ce en quoi le programme de Rabardel (vers une théorie instrumentale étendue) dépasse les dialogismes (moyen et fort) logocentrés qui viennent d'être évoqués. Relisons-le. Pour lui,

¹ Cette distinction entre *dire* et *faire* est évidemment une facilité de présentation. Bien sûr, les spécialistes des actes de langage que nous sommes n'ignorent pas que "dire c'est faire" (Austin, 1970). On nous accordera la possibilité de séparer ici les *dire*s (productions de formes langagières) et les *faire*s (production de formes corporelles et manipulation de la matière mondaine, instruments, outils, supports de traçage, etc.).

² Pour une analyse approfondie des rapports entre les versions bakhtinienne et jacquéenne du motif dialogique, nous renvoyons à Brassac (2001a). Dans ce texte nous examinons également le statut de la médiation instrumentale, telle que développée par Vygotki, vis-à-vis des dialogismes moyen et fort. Par ailleurs, nous avons développé dans un article intitulé *Lev, Ignace, Jerome et les autres...* les liens existant entre les catégories et principes théoriques de Meyerson, Bruner et Vygotki (Brassac, 2001b).

³ « Ni Vygotki, ni Bakhtine ne se sont mutuellement cités et (...) il est improbable qu'ils aient eu des contacts personnels ou que les idées de l'un aient directement influencé celles de l'autre » (Wertsch, 1985 : 158).

l'instrument en tant qu'objet matériel, en tant que production concrète, « contient, sous une forme spécifique, l'ensemble des rapports que le sujet peut entretenir avec la réalité sur et dans laquelle il permet d'agir (...) » (1999, p. 262). L'instrument est ainsi mis au centre du rapport homme-monde. Il est l'agent de l'homme 'fabricant', le média utilisé par le sujet 'créateur', le support matériel de la pensée, pour utiliser les termes de Meyerson.

Il n'y a pas de pensée sans quel que support matériel. Le fait de l'incarnation, c'est-à-dire le déploiement de la matière phénoménale, est la condition nécessaire de l'activité de l'esprit. Le poids, la résistance de la matière sont de constants stimulant de l'esprit : « l'obstacle à ma route me devient route » (Meyerson, 1987, p. 107). Selon ce psychologue, c'est à travers la réalisation concrète que l'homme se forme (« l'esprit est d'autant plus esprit qu'il est réalisé » (1987, p. 76)), comme on dit qu'une idée prend forme quand elle acquiert une consistance. Et cette réalisation est une construction qui rencontre la résistance du monde physique, qui nécessite des conduites que Meyerson dit 'actives-expérimentales', qui conduit à l'élaboration d'objets matériels, d'œuvres d'art, d'institutions, etc. Cette construction, omniprésente dans les écrits de Meyerson, est profondément une *création*.

Autrement dit, ce qui est nouveau dans cette insertion de la réalité matérielle dans le motif dialogique, c'est qu'elle rend possible un dialogisme tiré hors du simple langagier pour atteindre le rapport de l'entité cognitive au monde matériel. Ces thèses servent de toile de fond à la démarche que nous tenons pour bien adaptée à l'étude de situations de conception collaborative. A l'aide de ce (trop) rapide tour d'horizon qui rassemble Bakhtine, Vygotsky et Meyerson, nous avons voulu suggérer⁴ que ce concours de perspectives des trois auteurs conduit à la mise en avant de l'objet concret, matériel, dans la genèse du geste cognitif humain ; suggérer que cette convergence milite pour une prise en compte de la matérialité qui fait le monde dans lequel la subjectivité s'actualise ; suggérer enfin que ces auteurs peuvent conjointement porter bien haut cette "éthique de l'effectué" comme le dit si bien Vernant (1989, p. 11) à propos de son ami Meyerson. Et ainsi, défendre un *dialogisme de l'effectué* qui fonde la conduite humaine en général et qui prépare la nécessaire présence de l'interobjectivité (Latour, 1994) au sein de l'intersubjectivité.

En résumé, si nous nous intéressons à ce processus cognitif qu'est la conception, nous le faisons en tant que psychologue sociaux, en adoptant une démarche foncièrement interactionniste et, mieux, dialogique, et en nous appuyant sur une analyse de l'activité cognitive collaborative, engendrée par l'histoire conversationnelle, à la fois langagière (la genèse des dires) et manipulateur (l'énergétique des faire). Voyons maintenant la méthodologie que nous mettons en œuvre pour conduire ce projet.

3 POUR UNE CLINIQUE DE LA CONCEPTION

3.1. Observer, décrire...

Il s'agit donc pour nous de mettre des sujets humains en situation de concevoir de façon collaborative un artefact. Nous approchons l'ensemble des activités qu'ils accomplissent en captant au mieux leurs agissements. Ceci nous amène à filmer la séance. En effet, dans la mesure où notre *credo* s'appuie sur une nécessaire analyse *et* des productions langagières *et* des manipulations des objets du monde, nous nous devons de recueillir des corpus vidéo. Nous utilisons toujours deux caméras. L'une est dirigée vers les corps des acteurs, elle procure un plan large du groupe. Ainsi a-t-on accès aux acteurs en train de parler, de se mouvoir, d'échanger des regards, de pointer leur attention sur tel ou tel endroit de l'environnement. L'autre concerne le support des traçages. S'il s'agit d'une feuille de papier (ou d'un tableau) sur laquelle sont portées les inscriptions, cette caméra est braquée sur elle (généralement cette caméra est fixée au plafond de la salle, à l'aplomb de la scène). S'il s'agit d'un écran d'ordinateur, nous réalisons une capture directe de l'écran, en continu. Les deux prises de vues sont juxtaposées sur un support vidéo, de sorte qu'à l'analyse, nous puissions visionner simultanément les actions des sujets et le devenir, en continu, du support des inscriptions.

Ceci étant réalisé, nous nous retrouvons en position d'analystes-observateurs de la dynamique actionnelle. Nous mettons en œuvre une méthodologie qui relève de l'ethnographie des processus cognitifs. Les sujets acteurs du processus de conception sont là, sur leur lieu de travail, mais sous l'œil

⁴ Nous espérons l'avoir *montré* dans les deux textes signalés en note 2.

de caméras. Ainsi, c'est une observation qui constitue notre mode d'intervention sur le terrain de la conception *en train de se faire*. Dans la mesure où nous sommes présents dans une salle attenante pour pouvoir choisir, au moment même du déroulement de la séance, le mode de juxtaposition des deux prises de vues, cette observation se réalise en temps réel.

Cela dit, il nous est tout à fait indispensable de pouvoir pérenniser l'enchaînement des actes des acteurs. A fin d'analyse descriptive nous avons en effet besoin d'un dispositif permettant la répétition artificielle des enchaînements d'activités. Ce dispositif nous place en position d'analystes-cliniciens du geste cognitif. Car il s'agit bien de traquer, là même où elles adviennent, les créations des sujets fabricant de Meyerson (ici principalement des formes symboliques), les mots bi-vocaux incarnant le dialogisme de Bakhtine (ici des énoncés oraux), autant de médiations que Vygotsky considèrent comme étant l'engendrement des cognitions⁵. Il s'agit de mener à bien une *clinique* de la conception collaborative, c'est-à-dire de nous intéresser au *développement* cognitif plus qu'au *fonctionnement* cognitif (Clot, 1999b).

3.2. ... des situations de conception collaborative

Nous allons dans cette partie décrire brièvement un ensemble de mises en situation sur lesquelles portent nos analyses. Certaines ont été provoquées dans les entreprises où agissent les opérateurs, d'autres ont été réalisées dans un studio de télévision équipé d'une salle de montage attenante (un service de l'université Nancy 2). Un point commun rassemble toutes ces mises en situation : la co-présence des acteurs en une unité de temps et de lieu. On aura en effet compris que, puisqu'il s'agit pour nous d'appréhender les processus cognitifs en train de se faire, au cœur d'une intersubjectivité et au sein d'un milieu matériel donné, la co-occurrence des activités des sujets est une absolue nécessité. En ce sens, nous nous intéressons à ce que Darses et Falzon nomment le moment de co-conception (Darses & Falzon, 1996). Selon eux, le processus général de conception s'organise en deux types de factuautés. Les acteurs peuvent d'une part avoir des moments de travail 'en individuel' et d'autre part des plages où ils se rencontrent pour interagir. Lors des premiers, il existe certes des interactions entre les concepteurs mais à distance (téléphone, courriel, transfert de documents). Lors des seconds, les relations entre acteurs s'actualisent dans des lieux de réunion, en présentiel et avec une réciprocité des perspectives bien effective. Darses et Falzon qualifient ces deux temps de 'conception distribuée' pour le premier et de 'co-conception' pour le second. Notre objet d'étude est toujours constitué d'événements de co-conception.

Les cinq séances de travail que nous présentons peuvent être classées selon trois dimensions constitutives autour de la nature (informatique ou non) du produit, des ressources documentaires et des instruments de traçage (Tableau 1). Les artefacts conçus sont un dispositif mécanique (permettant de

⁵ Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici un point important concernant les travaux de Vygotsky. Comme le disent bien Cole et Scribner (1978, p. 7), dans le texte qui sert d'introduction à (Vygotsky, 1978), « When Vygotsky speaks of his approach as 'developmental', this is not to be confused with a theory of child development ». De fait, c'est plus la dynamique de l'activité humaine, en ce qu'elle se réalise dans le monde 'actuel' du sujet plutôt qu'en ce qu'elle se déploie dans son ontogenèse, qui est au centre des intérêts du psychologue soviétique. D'ailleurs, il insiste sur l'importance de la capture des pratiques du sujet en situation et en temps réel pour analyser la conduite humaine. Nous soulignons donc ainsi qu'on peut lire, dans l'œuvre de Vygotsky, l'adjectif 'développemental' comme synonyme de 'processuel'. La temporalité en jeu dans l'usage du terme 'développement' chez cet auteur est plus micro que l'on a tendance à l'envisager lorsque l'on pense à ses travaux, certes importants mais non exclusifs, relatifs à la psychologie de l'enfant. « Any psychological process (...) is a process undergoing changes right before one's eyes. *The development in question can be limited to only a few seconds* » (Vygotsky, 1978, p. 61, c'est nous qui soulignons). Il y a place pour une inspiration développementaliste en psychologie de l'activité cognitive des sujets humains qui ne s'intéresse pas exclusivement à l'enfant. Il est de coutume d'envisager le travail de Vygotsky comme se cantonnant à la psychologie de l'enfant. Clot parle de la lecture trop « pédagogue » qu'on a pu faire de son œuvre (1999a, p. 8). Il est selon nous cependant bien important d'avoir à l'esprit que ce confinement n'est pas fidèle à son intérêt pour la genèse de la dynamique cognitive en général, se développant-elle sur seulement quelques instants. Autrement dit, il y a lieu de réinvestir les thèmes de Vygotsky en psychologie du travail et notamment en psychologie cognitive de la conception.

fixer des planches en bois sur la table d'une machine-outil afin de les contourner [MeS 1])⁶, une recotation fonctionnelle d'un dessin industriel (plan d'un capot de disjoncteur [MeS 2])⁷, un graphe conceptuel (permettant à terme l'implantation informatique de raisonnements relatifs à la gestion d'exploitations agricoles [MeS 3])⁸, un document-utilisateur (consacré à un logiciel de gestion d'étudiants [MeS 4])⁹, et un outil pédagogique multimédia (permettant la construction de cours en automatique [MeS 5])¹⁰. Les types de ressources documentaires et de modes de traçage n'appellent pas de commentaires particuliers si ce n'est pour MeS 4 et MeS 5. Pour MeS 4, la ressource est à l'écran et est manipulée par deux acteurs à l'aide des clavier et souris ; il s'agit du logiciel de gestion dont l'objectif est d'en écrire un document utilisateur ébauché sur papier par un troisième acteur, le rédacteur. Pour MeS 5, la ressource et le mode de traçage sont confondus car le travail consiste en une amélioration d'un prototype dont une esquisse est présente en début de la séance ; cette amélioration est effectuée en temps réel au cours d'un long échange entre le développeur et l'utilisateur.

Tableau 1. Présentation des mises en situations analysées par l'équipe Codisant.

Mises en situations	Nature du produit	Ressources	Instruments
MeS 1	produit manufacturé	documents papier	papier - crayon
MeS 2	représentation graphique	documents papier	papier - crayon
MeS 3	représentation graphique	documents papier	papier - crayon
MeS 4	texte écrit	logiciel	papier - crayon
MeS 5	logiciel	logiciels	clavier - souris

Une autre dimension est toujours présente dans nos corpus, la multi-expertise. Dans le mouvement de l'ingénierie que l'on dit concourante (Bocquet, 1998, Bossard, Chanchevrier, & Leclair, 1997, Midler, 1996), nous parions sur la plus-value d'une rencontre entre sujets cognitifs à expertises différenciées ; plus-value obtenue par la mise en présence d'individus ayant des statuts, des histoires différentes par rapport au produit à concevoir. Ainsi dans MeS 4, le développeur du logiciel dont il faut écrire un mode d'emploi est présent ainsi qu'une secrétaire qui est déjà utilisatrice du dispositif. L'idée est là de faire remonter haut dans le processus, l'usager potentiel du document-utilisateur, ce qui évite une mise en place d'un test *a posteriori*, après la rédaction du document. Nous avons montré l'efficacité de ce procédé dans (Grosjean, Fixmer, & Brassac, 1999). De la même façon, la recotation du plan de la MeS 2 met en scène des dessinateurs-projeteurs qui proviennent de sections différentes de l'entreprise. Ils se déclarent issus de métiers différents, voire de cultures différentes (Brassac, 2001a). Les acteurs qui travaillent au dispositif mécanique permettant le contourage de planches en bois (MeS 1) viennent du bureau des études, des méthodes et de la fabrication (Grégori, 1999). Les chercheurs qui élaborent le graphe conceptuel (MeS 3) sont, pour les uns, des modélisateurs agronomes et, pour les autres, des informaticiens.

Dans toutes ces situations, les sujets humains réfléchissent, parlent, écrivent en manipulant crayon ou clavier. Comment les actions qu'ils réalisent conduisent-elles à l'engendrement d'idées et de traçages ? C'est l'objet de l'approche observationnelle que nous adoptons vis-à-vis de ces arènes de conception collaborative.

⁶ Travail que nous, CODISANT (Cognitions distribuées dans les systèmes artificiels et naturels), avons mené entre 1996 et 1998 en collaboration avec le Centre de recherches en automatique de Nancy (CRAN), le Groupe d'analyse psychométrique des conduites de Nancy 2 et le Laboratoire 3S (Sols – Solides – Structures) de Grenoble. Il a fait l'objet de la thèse de l'un d'entre nous (Grégori, 1999).

⁷ Travail mené entre 1997 et 1999 en collaboration avec le Centre de recherche en innovation socio-technique et organisations industrielles (CRISTO) de Grenoble et le Laboratoire 3S, financé par le programme GIS-Sciences de la Cognition.

⁸ Travail en cours et faisant l'objet d'une thèse co-dirigée en informatique et en agronomie, qui sera soutenue au Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (LORIA) de Nancy, par Jean-Luc Metzger au sein du groupe ORPAILLEUR, piloté par Amédeo Napoli.

⁹ Travail mené entre 1997 et 1999 (thèse de Sylvie Grosjean en préparation) en collaboration avec le Groupe de recherche en informatique, image et instrumentation (GREYC) de Caen et le CRISTO, financé par le programme GIS-Sciences de la Cognition.

¹⁰ Travail mené entre 1997 et 1999, en collaboration avec une PME nancéienne et avec le CRAN, le département de Sciences de l'Éducation de Nancy 2 et nous-mêmes, financé par l'Agence nationale de valorisation de la recherche.

4 OBJET INTERMEDIAIRE ET CO-CONCEPTION

Dans le cadre de cette communication, il n'est évidemment pas envisageable de donner en extension les résultats de nos analyses. Nous sommes en outre tout à fait conscients du caractère parcellaire des deux extraits que nous présentons au cours de ce chapitre et renvoyons le lecteur à (Brassac 2000a ; Brassac & Grégori, 2001a-b-c ; Grégori, Blanco, Brassac, & Garro, 1998 ; Grégori & Brassac, 2001 ; Grosjean, Fixmer, & Brassac, 1999) pour des présentations complètes de ces analyses. Nous voulons plutôt mettre en perspectives quelques traits saillants portant sur le rôle du traçage et des objets dans ces histoires cognitives que nous nous donnons pour objectif de décrire.

4.1. Traçage et décision

Nous avons montré ailleurs dans les publications citées ci-dessus que des événements de traçage avaient une importance tout à fait cruciale dans la suite des micro décisions qui scandent le processus général de conception. Ainsi des dessinateurs-projeteurs de MeS 2 révisant la cotation fonctionnelle réalisée pour le plan d'un capot de disjoncteur. Il leur faut déterminer ce qui est appelé dans leur jargon, la 'face de référence'. Ce geste, déterminant pour l'ensemble de toute la séance, est réalisé au long d'une conjonction de paroles et de descriptions sur l'objet-plan (de format A0) qui est là, présent et mobilisé par les acteurs. Il est le résultat d'une entente, élaborée en temps réel par les concepteurs, qui s'actualise sur un ensemble de formes co-construites. Ces formes sont de trois types : des formes langagières, des formes gestuelles et de formes matérielles. L'extrait 1 correspond à l'instant précis où se joue la co-décision.

Extrait 1 (MeS 2).

S1 01 donc même en théorie du fait qu'elle est montée [*mouvement de la main refermée sur le stylo vers l'autre ouverture*] dans ce sens-là ça serait vu le poids ça serait même plutôt qu'être l'axe ça serait le sommet du: [*mouvements alternatifs de la pointe du crayon au dessus de ce sommet en regardant S3*]
S3 02 ah oui bien sûr
S1 03 hein on est d'accord là-dessus tout le monde [*se tourne vers S4 et S5*]
S3 04 absolument
S4/S5 05 oui oui
S1 06 donc ce serait cette face-là [*tracé du trait*] qui//
S5 07 //celle du dessus//
S1 08 la face entre les deux hein parce que//
S5 09 //c'est celle du dessus [*pointe avec le doigt*] pas celle du dessous il descend
S1 10 [*dépose le crayon sur la table*]

Le capot est fixé à l'aide de vis qui passent dans les ouvertures. S1 (01) explique que 'donc' c'est le 'sommet du' qui forme la référence. En faisant le mouvement avec la main, il signifie à tous que l'effet de la pesanteur s'effectue du bas du dessin vers le haut du dessin. Autrement dit, allié à l'assertion au conditionnel 'ça serait vu le poids', le geste forme la condition préparatoire à ce qu'il profère après 'ça serait le sommet du...'. Il est clair qu'il n'y a pas d'ambiguïté pour le groupe sur le contenu de ce 'du'. Le pointage précis avec la pointe du crayon sur la zone du plan la rend difficile. Voici ici, soit dit en passant, une fonction très pertinemment médiatrice de l'objet intermédiaire (Jeantet, 1998 ; Vinck, 1999) qu'est le plan. En disant 'ah oui bien sûr', S3 (02) satisfait, avec un degré de force élevé (le 'bien sûr'), l'assertif ainsi réalisé effectivement par S1. Le meneur de jeu réagit à cet assentiment en reformulant (03). Il le fait en se tournant vers deux autres acteurs (S4 et S5). Le moment est techniquement fondateur de la suite des discussions, tout le monde *doit* être d'accord. Ceci a pour fonction de relancer la suggestion vers l'ensemble des dessinateurs. L'acquiescement collectif, proféré à l'unisson par S4 et S5 et répété par S3 (avec augmentation de sa force, 'absolument'), stabilise définitivement la force décisionnelle ainsi que la pertinence technique de S1 en 01. Il est très important de noter qu'à cet instant, la trace n'est pas réalisée ! La véritable actualisation de la décision, qui vient d'être co-construite au seul niveau langagier, dans la seule interlocution, qui met en scène l'ensemble des quatre dessinateurs sans exception, ne s'agit matériellement que lorsque le crayon, objet fondamental d'inscription, laisse des traces de graphite à l'endroit voulu. S1 écrit effectivement

après l'énonciation d'un '*done*' résumant l'accord général, alors même qu'il dit '*ce serait cette face-là*'. L'indexical est là encore non ambigu du fait de l'ancrage immédiat sur l'état du monde, l'ouverture concernée. Ce faisant, il a acquis la responsabilisation du groupe sur cette première face de référence.

Si le processus cognitif conjoint n'était, avant cette inscription, que discursif, il restait encore labile. Il devient plus stable après le traçage... ce qui ne veut pas dire qu'on ne pourra revenir en arrière (c'est d'ailleurs ce qui arrivera pour une autre face de référence, par gommage). Mais la discussion à propos de l'identification de la face de référence, s'appuie sur une irréversibilité qui est une altération pérenne du monde : le plan a été modifié (ce fut la première fois dans la séance). Il acquiert une dynamique qui va étayer la dynamique cognitive du groupe.

4.2. Objet et décision

La cinquième mise en situation évoquée plus haut (MeS 5) met en scène deux sujets : le développeur d'un prototype d'un outil pédagogique multimédia (désigné par DEV) et un enseignant potentiellement utilisateur de cet outil (désigné par ENS). Le dispositif est destiné à procurer à tout enseignant en automatique une aide pour la construction de cours sur la maintenance des systèmes automatisés. Il est développé dans *Microsoft Word 97*. Dans son état de développement initial, en début de séance, le prototype permet à l'utilisateur de créer du texte, de réaliser des schémas et d'insérer des images (fixes ou animées), du son ou du texte déjà saisi par ailleurs. Cet ailleurs existe, il a été développé au sein de l'entreprise responsable du projet (Brassac & Grégori, 2001a, Grégori & Brassac, 2001).

La première heure de la séance donne l'occasion à DEV d'exposer le contenu du prototype. Cet exposé a débouché sur une insatisfaction pointée par ENS et sur une insuffisance co-exprimée par les deux acteurs de la conception. ENS dit qu'il a besoin de pouvoir insérer des fichiers qui sont présents sur le réseau internet ; et ce, après avoir pu les visualiser. Techniquement, le prototype est conçu pour permettre cette recherche de liens et cette importation de leurs contenus, mais DEV n'avait pas anticipé ce besoin de prévisualisation.

Extrait 2 (MeS 5).

DEV	01	ça veut dire ici euh en cliquant je sais pas où (1s) par exemple ici euh voilà ici j'ai une liste je dis je veux voir ça donc on clique peut-être le bouton droit ou j'en sais rien ou je donne une fonction et hop il nous donne il nous le contenu d'accord
ENS	02	d'ailleurs dans: powerpoint hein euh ou du genre de enfin tu sais le
DEV	03	de prévisualisation
ENS	04	ah oui
DEV	05	c'est un peu le cas ici quand tu fais in/ quand tu fais insertion image [<i>clique sur des déroulants en cascade</i>] hein à partir d'un fich/ oui enfin ça c'est/ à la limite ce serait même bien [<i>apparition à l'écran d'une fenêtre</i>]
ENS	06	oui voilà c'est ça
DEV	07	ça ça ça serait idéal

L'énoncé 01 révèle une grande hésitation de la part du développeur. Son intervention est truffée de négations ('*je sais pas où*', '*j'en sais rien*') de modalisateurs discursifs ('*euh*', '*peut-être*') qui marquent le fait qu'il essaie, qu'il tâtonne, qu'il ne domine pas complètement ce que l'écran va présenter à la suite de ses manipulations de souris. Il apparaît qu'il n'a pas essayé la fonctionnalité qu'il met en œuvre en 05 : '*c'est un peu le cas ici*' le montre en plein tâtonnement, en pleine expérimentation. Une fenêtre apparaît alors à l'écran. C'est une boîte de dialogue. Il s'agit plus précisément de la boîte d'insertion d'images de *Microsoft Word 97*. Elle saute aux yeux des acteurs. DEV (05) exprime une sorte de découverte ('*à la limite ça serait même bien*'), découverte marquée par le conditionnel. ENS dit sa satisfaction immédiate (06) ; il utilise l'indicatif présent, '*voilà c'est ça*'. Et l'on observe que le '*même bien*' de DEV en 05 est immédiatement reformulé par ce même DEV en '*idéal*' (07).

Contrairement à la première partie de la séance, l'écran n'est plus l'artefact dont l'usage permet l'accompagnement des dires. Pendant une heure, DEV a exposé ce qui est en quelque sorte un assujettissement des événements de l'écran à sa conception du prototype. Quand je veux réaliser telle

action, il se passera ceci à l'écran. Si cela ne se passe pas, c'est que l'interface n'est pas encore au point. A partir de cet instant (l'apparition de la fenêtre), l'écran 'ne suivra plus' les instructions de DEV. Et pour cause, il s'agit d'inventer une chose à laquelle il n'a pas pensé auparavant. Une manœuvre hasardeuse, presque fortuite (du type 'on pourrait peut-être essayer ça'), provoque un état de l'écran qui se révéler très vite déterminant. L'état de cet écran exhibe clairement une solution, la boîte d'insertion d'images. Ce dispositif est tout à fait adéquat. En effet il s'agit d'une fenêtre où les éléments à insérer apparaissent sous forme graphique, de sorte qu'on peut les visualiser avant de les insérer dans un document. ENS ne s'y trompe pas qui claironne immédiatement '*voilà c'est ça*' (06). Mais qu'en est-il du développeur ? De très nombreuses traces de son adhésion à la solution peuplent son discours de la dernière demi-heure de la séance. Ces traces sont bien évidemment majoritairement d'ordre langagier. En voici quelques-unes, toutes préférées, dans les cinq minutes suivantes, par le développeur : '*un truc comme ça, ça serait idéal*', '*c'est exactement ça*', '*un truc comme ça, ça serait super*', '*ah c'est exactement ça*'.

Ces formes langagières, dont la dernière n'est plus au conditionnel et qui traduisent clairement son accord, scandent un long commentaire où DEV montre en quoi cette boîte est pertinente. Tout se passe comme s'il acquiescrait cette conviction au cours de la glose de la fenêtre qu'il ne manque pas de manipuler abondamment pendant cette dernière demi-heure. On observe aussi un autre mode d'action qui montre son acceptation de l'issue de la discussion. Cette boîte de dialogue, d'insertion d'objets, reste plein cadre à l'écran sans en être effacée, pendant un long moment (seize minutes). Au bout de quatre minutes, DEV saisit cet objet virtuel de façon tout à fait significative. Comme on brandit en réunion un fascicule, un compte rendu, un document pour insister sur son importance dans la discussion en cours, comme on pointe en tapotant un transparent à l'endroit où réside la clé de l'exposé, comme on empoigne un outil pour montrer à autrui son caractère indispensable, DEV s'empare de la fenêtre comme pour en estimer la pertinence. Il le fait en manipulant la souris de façon saccadée et circulaire ce qui a pour effet un déplacement rotatif rapide de la fenêtre qu'il contrôle parfaitement. A cet exact moment (qui dure deux secondes), DEV dit cette chose tout à fait importante '*et l'outil c'est quasiment que ça, c'est que le bout là*' (57'47"). En quelque sorte c'est comme s'il agrippait cet objet, devenu la clé du processus de conception. D'une certaine façon débordé par un dispositif qu'il avait conçu 'à sa main' pour exposer l'état du prototype, DEV montre là une sorte d'appropriation de ce qui lui avait échappé. Le contrôle de cet état de choses, de cet artefact dont l'actualisation a été produite presque par hasard dans le monde matériel de l'interaction, passe par une possession virtuelle d'un objet à l'écran.

C'est en tant qu'élément concret, perceptible, de l'environnement de l'interaction que cette fenêtre acquiert un rôle actif dans le processus de conception. On retrouve là une excellente illustration du concept d'objet intermédiaire, déjà évoqué plus haut, par Vinck et Jeantet (Jeantet, 1998 ; Vinck, 1999).

5 CONCLUSION

Il ne nous semble plus possible d'étudier les phénomènes intersubjectifs en faisant l'économie de la part non langagière de l'engendrement du sens en interaction. Il est nécessaire de prendre en compte la mobilisation des corps interagissant ainsi que celle de la matérialité ambiante, et en particulier les objets qui la composent. Ce type d'analyse, étayée sur une approche qui donne la part belle à l'intrication, à la conjugaison des dire et des faire, souligne la nécessité de dépasser le cadre de la pragmatique linguistique pour adopter celui de la praxéologie. On rejoint ici Vernant (1997) en préconisant la prise en compte globale de l'action en situation intersubjective. Cette prise en compte s'appuie pour une part sur les thèses bakhtinienne et jacquienne (Bakhtine, 1929 / 1977 ; Jacques, 1985, 2000) et, pour une autre part, sur la thématique de l'objet comme produit et support du fait interactionnel (*Raisons Pratiques* 4, 1993¹¹). Ainsi nous prôtons un réexamen des propositions de

¹¹ On pourra également se reporter à Brassac (2000b) et à l'intégralité des actes de l'école d'été de l'Association de la Recherche Cognitive, intitulée *Médiation technique et cognition. Cognition située, individuelle et collective*. Elle s'est déroulée en juillet 2000 à Bonas et on en peut trouver les actes en ligne à l'adresse suivante : <http://www.mines.u-nancy.fr/arco/activites/ecoles/Bonas2000.html>.

Meyerson concernant la catégorie générale 'd'œuvre', conçue comme chemin privilégié pour l'étude d'un homme 'fabricant' (Meyerson, 1948 / 1995), mais plongée dans une perspective constructiviste vygotkienne de la médiation instrumentale¹² (Clot, 1999b). L'intersubjectivité, au cœur de la dynamique de conception ici exposée, s'inscrit dans une interobjectivité (Latour, 1994) qui organise la génération du sens, des décisions et des cognitions conjointement élaborées.

En ce qui concerne plus précisément les processus de conception, *ipso facto* cognitifs, mais pas seulement, nous préconisons la mise en œuvre d'un tel programme en mettant en avant une approche clinique relevant du paradigme de l'action située. Une pragmatique de la conception donc, qui puise ses théories et ressources méthodologiques dans une posture constructiviste en psychologie interactionniste.

BIBLIOGRAPHIE

- Austin, J.L. (1970). *Quand dire c'est faire*. Paris : Éditions du Seuil.
- Bakhtine, M. (1929 / 1977) [V.N. Volochinov]. *Le marxisme et la philosophie du langage. Essai d'application de la méthode sociologique en linguistique*. Paris : Éditions de Minuit.
- Bales, R. (1950). *Interaction Process Analysis*. Cambridge : Addison Wesley.
- Bocquet, J.-C. (1998). Ingénierie simultanée, conception intégrée. In M. Tollenaere (Ed.), *Conception de produits mécaniques*, (pp. 29-52). Paris : Hermès.
- Bossard, P., Chanchevrier, C., & Leclair, P. (Eds.) (1997). *Ingénierie concurrente : de la technique au social*. Paris : Economica.
- Brassac, Ch. (2001). Formation et dialogisme : l'exemple d'un apprentissage situé et distribué. *Orientation Scolaire et Professionnelle*, 30/2, 243-270. [2001a]
- Brassac, Ch. (2001). Lev, Ignace, Jerome et les autres... Vers une perspective constructiviste en psychologie interactionniste. *Technologies, Idéologies et Pratiques : revue d'anthropologie des connaissances (à paraître)*. [2001b]
- Brassac, Ch. (2000). Intercompréhension et Communiaction®. In A.C. Berthoud & L. Mondada (Eds.) *Modèles du discours en confrontation* (pp. 219-228). Berne : P. Lang. [2000a]
- Brassac, Ch. (2000). La conception située et distribuée : un point de vue de psychologue des processus cognitifs collaboratifs. *Cours au sein de la septième école d'été de l'ARCo*, Bonas (Gers), 10-21 juillet [2000b].
- Brassac, Ch. & Grégori, N. (2001). Situated and Distributed Design of a Computer Teaching Device. *International Journal of Design Sciences and Technology*, 8/2, 11-31. [2001a]
- Brassac, Ch. & Grégori N. (2001). La communication en environnement virtuel. *Champ psychosomatique « La réalité virtuelle »*, 22, 83-97. [2001b]
- Brassac, Ch. & Grégori, N. (2001). Éléments pour une clinique de la conception collaborative. *Actes du Dixième Atelier du Travail Humain « Modéliser les activités coopératives de conception »* (pp. 73-92). Paris, France, Juin. [2001c]
- Bruner, J.S. (1999). Culture, Self, and Other. *Sémiotique des cultures et sciences cognitives*. Colloque inaugural de l'Institut Ferdinand Saussure, Genève, 20-23 juin 1999.
- Bruner, J.S. (1991). *Car la culture donne forme à l'esprit. De la révolution cognitive à la psychologie culturelle*. Paris : Eshel.
- Clot, Y. (1999). *Avec Vygotsky*. Paris : La dispute. [1999a]
- Clot, Y. (1999). De Vygotski à Léontiev via Bakhtine. In Y. Clot (Ed.), *Avec Vygotski* (pp. 165-185). Paris : La Dispute. [1999b]
- Cole, M. & Scribner, S. (1978). Introduction. In L.S. Vygotsky (Ed.), *Mind in Society : the development of higher psychological processes* (Edited by M. Cole, V. John Steiner, S. Scribner & E. Soubberman) (pp. 1-14). Cambridge : Harvard University Press.
- Darses, F. & Falzon, P. (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et Conception* (pp. 123-135). Toulouse : Octarès.

¹² Pour plus de détails sur ces rapprochements très brutalement et succinctement évoqués ici, consulter Brassac (2001a) et Brassac (2001b).

- Deleau, M. (1999). Vygotski, Wallon et les débats actuels sur la théorie de la pensée. In Y. Clot (Ed.), *Avec Vygotski* (pp. 101-117). Paris : La Dispute.
- Grégori, N. (1999). *Étude clinique d'une situation de conception de produit. Vers une pragmatique de la conception*. Thèse de doctorat en psychologie de l'université Nancy 2. Villeneuve d'Ascq, Presses Universitaires du Septentrion.
- Grégori, N., Blanco, E., Brassac, Ch., & Garro, O. (1998). Analyse de la distribution en conception par la dynamique des objets intermédiaires. In B. Trousse & K. Zreik (Eds.), *Les objets en conception* (pp. 135-154). Paris : Europaia.
- Grégori, N. & Brassac, Ch. (2001). Considérations sur la collaboration dans la conception d'un outil informatique. *Actes du Cinquième Colloque Hypermédias et Apprentissages* (pp. 99-104). Grenoble, France, Avril.
- Grosjean, S., Fixmer, P., & Brassac, Ch. (1999). Those "psychological tools" inside the design process. *Knowledge-Based Systems*, 13, 3-9.
- Jacques, F. (1985). *L'espace logique de l'interlocution*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jacques, F. (2000). *Écrits anthropologiques. Philosophie de l'esprit et cognition*. Paris : L'Harmattan.
- Jantet, A. (1998). Les objets intermédiaires dans les processus de conception des produits, *Sociologie du travail*, 3/98, 291-316.
- Latour, B. (1994). Une sociologie sans objet ? Remarques sur l'interobjectivité. *Sociologie du travail*, XXXVI 4/94, 587-607.
- Meyerson, I. (1948/1995). *Les fonctions psychologiques et les œuvres*. Paris : Vrin ; réédition Albin Michel.
- Meyerson, I. (1987). *Écrits 1920-1983. Pour une psychologie historique*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Midler, Ch. (1996). *L'auto qui n'existait pas*. Paris : InterEditions.
- Raisons Pratiques 4* (1993). *Les objets dans l'action*. Paris : Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales.
- Rabardel, P. (1999). Le langage comme instrument ? Éléments pour une théorie instrumentale élargie. In Y. Clot (Ed.), *Avec Vygotski* (pp. 241-265). Paris : La Dispute.
- Steiner, I.D. (1972). *Group process and productivity*. New York : Academic Press.
- Vernant, D. (1997). *Du discours à l'action*. Paris : Presses Universitaires de Paris.
- Vernant, J.-P. (1989). Discours d'ouverture. *Technologies Idéologies et Pratiques, Volume VIII n° 1 à 4*, 9-13.
- Vinck, D. (1999). Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. *Revue Française de Sociologie, XL (2)*, 385-414.
- Vygotsky, L.S. (1934 / 1985). *Pensée et langage*. Paris : Messidor / Éditions Sociales.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society : The development of higher psychological processes*. Cambridge : Harvard University Press (Edited by M. Cole, V. John Steiner, S. Scribner & E. Soubberman).
- Wertsch, J.-V. (1985). La médiation sémiotique de la vie mentale : L.S. Vygotsky et M.M. Bakhtine. In B. Schneuwly & J.P. Bronckart (Eds.). *Vygotsky aujourd'hui* (pp. 7-21). Lausanne : Delachaux et Niestlé.

La conception de sites web : Une étude de la prise en compte de contraintes

Par N. BONNARDEL* et A. CHEVALIER*

RÉSUMÉ

En raison de l'essor de l'Internet, de plus en plus de sites sont diffusés sur le World Wide Web (Web). Ces sites sont conçus non seulement par des spécialistes des nouvelles technologies mais aussi par des concepteurs "tout venant", grâce à l'utilisation d'éditeurs de pages HTML. Bien que de nombreuses recommandations ergonomiques, spécifiques à la conception de sites web, aient été proposées, la plupart des sites présents sur le Web sont considérés comme non satisfaisants d'un point de vue ergonomique. Dans la perspective de contribuer à une meilleure compréhension des difficultés rencontrées par les concepteurs de sites web (et ainsi, indirectement, à une amélioration des sites), une étude de type expérimental a été réalisée afin de caractériser (1) la prise en compte orale de contraintes par des concepteurs professionnels et débutants, et (2) le respect ou non de ces contraintes dans les maquettes de sites web produites. Les résultats obtenus contribuent à identifier les aspects cognitifs pour lesquels une aide pourrait être apportée aux concepteurs.

Mots-clés : sites web, conception, contraintes, expertise.

1 CADRE DE L'ETUDE

Le développement de l'Internet a comme corollaire l'émergence d'un nouveau type d'activité créative : *la conception de sites web*. En effet, le World Wide Web (Web) permet, non seulement aux grands organismes mais aussi à de petites sociétés et à des personnes opérant individuellement, de concevoir et de "diffuser" leurs propres sites. De tels sites peuvent avoir une visée commerciale, fournir des informations à grande échelle ou simplement personnelles. Ils peuvent être réalisés sans nécessiter de connaissances techniques "pointues", puisque de nombreux éditeurs de sites web sont proposés et que leur utilisation, après une courte période d'apprentissage, n'est pas particulièrement difficile (notamment, lors de l'utilisation d'éditeurs WYSIWYG - "What you see is what you get"). De ce fait, les activités de conception de sites web ne sont plus mises en œuvre uniquement par des spécialistes des nouvelles technologies. Plutôt que de commander leur site à une société spécialisée, de plus en plus de personnes préfèrent suivre une formation relativement courte à la conception de sites web (formation généralement centrée sur l'utilisation d'un éditeur de sites) et être ainsi à même de concevoir et d'actualiser leur propre site.

Les sites présents sur le Web sont donc extrêmement nombreux. La plupart de ces sites ne répondent pas directement aux besoins des utilisateurs ou "visiteurs" et sont considérés comme difficiles à utiliser (Nielsen, 2000). Dans la perspective d'une amélioration des sites proposés sur le Web, différentes recherches ont été et sont actuellement conduites. Il s'agit, notamment, de travaux ayant trait à :

- la consultation de sites par les internautes et/ou à la consultation de documents hypermédias (cf., par exemple, Vora & Helander, 1997 ; Smith, Newman & Parks, 1997 ; Tricot, Pierre-Demarcy & El Boussarghini, 1998 ; McCrickard, 2001) ;
- l'élaboration de recommandations et de critères ergonomiques adaptés à l'environnement Web (cf., par exemple, Bastien, Leulier & Scapin, 1998 ; Nielsen, 2000 ; Scapin, Leulier, Vanderdonck, Mariage, Bastien, Farenc, Palanque & Bastide, 2000 ; Pribanu, Mariage & Vanderdonck, 2001).

* Centre de recherche en Psychologie de la Connaissance, du Langage et de l'Emotion – E.A. 3273, Université de Provence, 29, avenue Robert Schuman, 13621 Aix en Provence cedex.

Par contre, peu de travaux portent sur l'activité de conception de sites web. Or, nous défendons l'idée qu'étudier l'activité des concepteurs et identifier les difficultés qu'ils rencontrent constitue un préalable indispensable à l'amélioration des sites web. Aussi, *l'objectif de l'étude* qui va être présentée est de déterminer les aspects qui se révèlent problématiques pour les concepteurs dans la prise en compte "spontanée" de contraintes liées au commanditaire et/ou à l'utilisateur.

Une pré-étude, consistant en des observations et en des entretiens, a tout d'abord été conduite auprès de concepteurs intervenant dans de petites sociétés de création de sites web. Ceux-ci devant prendre en considération le point de vue du commanditaire ainsi que celui de l'utilisateur-visiteur du site, des analyses plus systématiques ont été réalisées (Bonnardel & Chevalier, 1999 ; Chevalier & Bonnardel, 2001). Notre pré-étude a permis d'observer des différences dans les attentes des commanditaires : certains d'entre eux ont d'emblée une représentation précise du site qu'ils souhaitent alors que d'autres n'en ont qu'une idée approximative. Ce facteur de variabilité sera reproduit dans l'étude suivante. Le point de vue de l'utilisateur est, en partie, reflété par les recommandations et les critères ergonomiques existants (visant principalement à améliorer l'utilisabilité des sites). Aussi, nous référerons-nous, pour l'étude suivante, aux contraintes sous-jacentes aux Critères Ergonomiques proposés par Bastien, Leulier & Scapin (1998). Par ailleurs, les sites étant créés par des professionnels ainsi que par des concepteurs "tout venant" (comme cela a été souligné précédemment), nous distinguerons, dans cette étude, différents niveaux d'expertise dans la création de sites web.

Les attentes du commanditaire et le niveau d'expertise des concepteurs influent nécessairement sur la représentation mentale que le concepteur se construit du site à développer, ce qui peut avoir un impact sur la prise en considération et la satisfaction de contraintes. Afin de caractériser cet impact, une étude de type expérimental a été conduite auprès de concepteurs professionnels et auprès de débutants dans la conception de sites web. Plus précisément, cette étude vise à analyser l'impact des attentes du commanditaire ainsi que l'effet du niveau d'expertise des concepteurs sur :

- la prise en compte orale par les concepteurs de contraintes liées au commanditaire et/ou de contraintes de nature ergonomique ;
- le respect de ces différentes contraintes dans les maquettes de sites web produites.

2 DESCRIPTIF DE L'ETUDE

Douze concepteurs ont participé à cette étude : 8 concepteurs débutants, venant de bénéficier d'une formation spécifique à la création de sites web, et 4 concepteurs professionnels.

Les concepteurs débutants ont suivi le même cursus universitaire et la même formation à la création de sites web (en même temps et de la part d'un seul et même formateur).

Les concepteurs professionnels bénéficient d'environ 3 ans d'expérience dans de petites sociétés spécialisées dans la création de sites web. Leur formation initiale est diversifiée (école d'architecture, école des Beaux-Arts, etc.), mais étant passionnés par l'informatique et Internet, ils se sont formés eux-mêmes à la conception de sites web.

Leur *tâche* principale consistait à réaliser, pendant 1 heure 30, une maquette de site web pour un concessionnaire automobile. Cette tâche est inspirée d'une tâche réelle observée durant la pré-étude évoquée précédemment. Outre cette tâche principale, il était notamment demandé aux concepteurs de "raisonner à voix haute" (consigne de verbalisation simultanée) afin de pouvoir caractériser différents aspects de leur activité cognitive. Compte tenu des objectifs de ce papier, nous ne présenterons ici que les résultats relatifs à la prise en compte de contraintes.

La variabilité relative aux attentes du commanditaire est reflétée expérimentalement par le *niveau de spécification du cahier des charges* fourni aux participants. Plus précisément, deux cahiers des charges ont été constitués : un cahier des charges "spécifié", comportant de nombreuses exigences (ou "contraintes prescrites"), et un cahier des charges "restreint", comportant peu d'informations (cf. annexe). La moitié des concepteurs a été confrontée au cahier des charges spécifié et l'autre moitié au cahier des charges restreint.

Les verbalisations des concepteurs ont été retranscrites, puis analysées indépendamment par deux personnes et un degré d'accord élevé a été obtenu. Cette *analyse* s'est effectuée en deux phases visant à :

- Caractériser quantitativement et qualitativement les contraintes spontanément prises en compte oralement par les concepteurs. Plus précisément, deux grandes catégories de contraintes ont été distinguées : des contraintes liées aux attentes du commanditaire (e.g., les contraintes "prescrites" présentées dans le cahier des charges spécifié) et des contraintes que nous qualifierons d'"ergonomiques", relevant des Critères Ergonomiques définis par Scapin & Bastien (1997) et par Bastien, Leulier & Scapin (1998). Pour cette analyse, chaque contrainte prise en compte au moins une fois par un concepteur a été comptabilisée.
- Déterminer dans quelle mesure les maquettes produites respectent effectivement les contraintes en question, qu'elles soient de nature prescrite ou ergonomique.

3 RESULTATS

3.1. PRISE EN COMPTE ORALE DE CONTRAINTES

3.1.1. *Prise en compte ou inférence de contraintes liées aux attentes du commanditaire*

Quel que soit leur niveau d'expertise, les concepteurs confrontés au *cahier des charges spécifié* (CCS) ont pris en compte, oralement, quasiment le même nombre de contraintes prescrites : en moyenne, 7,5 pour les débutants et 8 pour les professionnels (sur un total de 11 contraintes spécifiées dans le CCS). En outre, les contraintes prescrites prises en compte se sont révélées être de même nature (par exemple, "harmoniser les couleurs du site avec celles du logo du concessionnaire").

Il est également apparu que, quel que soit leur niveau d'expertise, les concepteurs confrontés au *cahier des charges restreint* (CCR) ont été en mesure d'*inférer* des contraintes liées aux attentes (supposées) du commanditaire (il s'agit de contraintes spécifiées dans le CCS mais non présentées dans le CCR) : en moyenne 5,25 contraintes sont inférées par les débutants et 6 par les professionnels.

3.1.2. *Génération spontanée de contraintes ergonomiques*

Analyse quantitative

Quel que soit leur niveau d'expertise, les concepteurs ont énoncé oralement et *spontanément* environ le même nombre de contraintes de nature ergonomique (i.e., sous-jacentes aux Critères Ergonomiques) : en moyenne, 9 contraintes ergonomiques ont été générées par les débutants et 10 par les professionnels.

Le niveau de spécification du cahier des charges s'est révélé exercer une influence sur les contraintes ergonomiques énoncées par les concepteurs débutants mais ce ne semble pas être le cas pour les concepteurs professionnels :

- Les concepteurs *débutants*, confrontés au cahier des charges spécifié (CCS), ont énoncé significativement moins de contraintes ergonomiques que ceux confrontés au cahier des charges restreint (CCR) : en moyenne, respectivement, 6,5 vs. 11,5 contraintes ergonomiques (différence significative à $p=.02$).
- Les concepteurs *professionnels* confrontés au cahier des charges spécifié (CCS), ont énoncé légèrement plus de contraintes ergonomiques que ceux confrontés au cahier des charges restreint (CCR) : en moyenne, respectivement, 11,5 vs. 8 contraintes ergonomiques, bien que cette différence ne soit pas significative.

Analyse qualitative

Quels que soient le niveau d'expertise des concepteurs et le niveau de spécification du cahier des charges, les contraintes ergonomiques énoncées par les concepteurs relèvent principalement de deux Critères Ergonomiques généraux (définis d'après Bastien, Leulier & Scapin, 1998) :

- Le "guidage", qui vise à fournir à l'utilisateur des informations relatives à l'état dans lequel il se trouve (par exemple "donner un titre à chaque page du site", "proposer sur chaque page un accès direct à la page d'accueil", etc.). Les contraintes relevant de ce critère représentent 44% de la totalité des contraintes de nature ergonomique qui ont été générées.
- La "charge de travail", à la fois au niveau perceptif et au niveau mnésique (par exemple, "minimiser les contraintes de défilement des pages"). Les contraintes relevant de ce critère représentent 27% de la totalité des contraintes ergonomiques énoncées.

Les contraintes sous-jacentes à ces deux critères représentent donc 71% de la totalité des contraintes ergonomiques générées par les concepteurs.

3.1.3 Discussion

L'influence du niveau de spécification du cahier des charges (CCS vs. CCR) apparaît dépendante du niveau d'expertise des concepteurs :

- Les concepteurs *débutants* confrontés au CCS semblent avoir eu tendance à se focaliser sur les contraintes prescrites dans le cahier des charges qui leur était présenté au détriment de contraintes relevant de Critères Ergonomiques. Les concepteurs débutants confrontés au CCR peuvent, quant à eux, avoir accordé moins d'importance aux contraintes liées aux attentes du commanditaire, qu'ils ont pourtant inférées. Cela a pu leur permettre de se focaliser davantage sur l'utilisateur et, ainsi, de générer spontanément davantage de contraintes de nature ergonomique. Bien que les contraintes qui ont été inférées par ces concepteurs aient été similaires, en quantité et en nature, aux contraintes prescrites dans le CCS, un statut différent peut leur avoir été attribué.
- Le niveau de spécification du cahier des charges semble avoir eu moins d'impact sur les concepteurs *professionnels*, quel que soit le cahier des charges, puisqu'ils se sont référés de façon similaire à des contraintes liées aux attentes du commanditaire et à des contraintes ergonomiques.

Ces premiers résultats montrent que les concepteurs génèrent spontanément certaines contraintes ergonomiques sous-jacentes aux Critères Ergonomiques de "guidage" et de "charge de travail". Afin de déterminer dans quelle mesure les contraintes énoncées oralement sont respectées dans les productions des concepteurs, les maquettes qu'ils ont produites ont été analysées.

3.2. RESPECT DES CONTRAINTES DANS LES MAQUETTES PRODUITES

3.2.1. Respect des contraintes liées aux attentes du commanditaire

Quel que soit leur niveau d'expertise, les concepteurs confrontés au *cahier des charges spécifié* (CCS) ont respecté la majeure partie des contraintes prescrites qu'ils ont énoncées oralement :

- 6 contraintes prescrites sont, en moyenne, respectées dans les productions des débutants (sur 7,5 énoncées oralement) ;
- 5,5 contraintes prescrites sont, en moyenne, respectées dans les productions des professionnels (sur 8 contraintes énoncées verbalement).

Quel que soit leur niveau d'expertise, les concepteurs confrontés au *cahier des charges restreint* (CCR), ont respecté toutes les contraintes qu'ils avaient inférées (en moyenne 5,25 de la part des débutants et 6 de la part des professionnels).

Ainsi, la plupart des contraintes liées aux attentes du commanditaire, qu'elles aient été prescrites ou inférées, sont respectées dans les productions.

3.2.2. Respect de contraintes ergonomiques

Bien que les concepteurs *débutants* aient été capables de générer spontanément un nombre non négligeable de contraintes ergonomiques (en moyenne, 9 par concepteur), environ 28% des contraintes qu'ils ont mentionnées ne sont pas respectées dans les maquettes produites, et cela quel que soit le niveau de spécification du cahier des charges.

En ce qui concerne les *professionnels*, les résultats apparaissent plus surprenants : bien qu'ils aient généré, en moyenne, 10 contraintes ergonomiques (quel que soit le cahier des charges), on constate des variations dans le respect de ces contraintes dans les maquettes produites, en fonction du niveau de spécification du cahier des charges : si seulement 25% des contraintes citées par les concepteurs confrontés au CCR ne sont pas respectées dans leurs productions, c'est le cas de 60% des contraintes citées par les concepteurs confrontés au CCS.

D'un point de vue *qualitatif*, les contraintes ergonomiques qui n'ont pas été respectées relèvent évidemment des critères généraux de "guidage" et de "charge de travail", les contraintes énoncées par les concepteurs ayant été principalement liées à ces critères. De plus, d'autres problèmes ergonomiques ont été décelés au sein des maquettes. Ces problèmes sont principalement liés aux critères suivants : "guidage" (12 types de problèmes, autres que ceux liés aux contraintes énoncées par les concepteurs), "compatibilité" (4 types de problèmes), "adaptabilité" (3 types de problèmes), "charge de travail" (2 types de problèmes, autres que ceux liés aux contraintes énoncées), "contrôle explicite" (1 type de problème) et "gestion des erreurs" (1 type de problème).

4 CONCLUSION

Bien que cette première étude reste à compléter, elle contribue à une meilleure compréhension du fonctionnement cognitif des concepteurs de sites web. Ainsi, il est apparu que, quels que soient le niveau de spécification du cahier des charges et le niveau d'expertise des concepteurs, ces derniers ont tendance à se focaliser sur *les attentes du commanditaire* (qu'elles soient supposées ou effectivement notifiées dans le cahier des charges). En effet, la plupart des contraintes liées aux attentes du commanditaire, qu'elles aient été prescrites dans le CCS ou inférées par les concepteurs confrontés au CCR, ont été respectées dans les maquettes produites. Cette démarche semble s'effectuer *au détriment de contraintes ergonomiques* pourtant générées spontanément, puisqu'un nombre considérable de ces contraintes ergonomiques n'est pas respecté dans les maquettes produites et que, de plus, d'autres types de problèmes ergonomiques y ont été identifiés.

Ces résultats mettent en évidence certaines difficultés que rencontrent les concepteurs de sites web (et, ainsi, ils contribuent indirectement à une meilleure compréhension des difficultés rencontrées par les utilisateurs-visiteurs de sites) :

- les concepteurs ne génèrent spontanément que certains types de contraintes ergonomiques (principalement celles qui relèvent des Critères Ergonomiques "guidage" et "charge de travail"),
- de plus, ils n'appliquent pas toutes les contraintes qu'ils ont exprimées oralement.

Différentes *hypothèses explicatives* peuvent être envisagées :

- étant focalisés sur les contraintes liées aux commanditaires, les concepteurs omettent certaines contraintes ergonomiques qu'ils souhaitent prendre en compte ;
- lorsqu'ils sont réellement engagés dans le développement du site, ils se focalisent sur les aspects techniques de leur activité au détriment de considérations relatives aux utilisateurs (par exemple, en ce qui concerne la facilité de navigation) ;
- bien qu'ayant prévu de prendre en compte certaines contraintes ergonomiques, ils se trouvent confrontés à des difficultés de mise en application concrète de ces contraintes (les aspects liés aux utilisateurs sont d'autant plus difficiles à apprécier que l'activité des futurs utilisateurs-visiteurs du site doit être anticipée) ;
- bien qu'ayant prévu de prendre en compte certaines contraintes ergonomiques, la durée qui leur était accordée (1 heure 30) n'a pas été suffisante pour qu'ils puissent en tenir compte dans leurs productions.

Des études complémentaires restent donc à réaliser afin d'apporter de nouveaux éléments d'explication et, sur cette base, de proposer une assistance adaptée aux difficultés rencontrées par les concepteurs : formation destinée à l'acquisition de critères et de contraintes ergonomiques, aide à la prise en compte effective de ces critères et de ces contraintes, aide à leur mise en application, ...

REFERENCES

- Bastien, J. M. C., Leulier, C. & Scapin, D. L., (1998). L'ergonomie des sites web. In J.-C. Le Moal & B. Hidoine (Eds.), *Créer et maintenir un service Web. Cours INRIA, 27 septembre-2 octobre, Pau (Pyrénées-Atlantiques)*. Paris : ADBS.
- Bonnardel, N. & Chevalier, A. (1999). La conception de sites Web : Une étude de l'adoption de points de vue. *Actes de la Journée satellite "Ergonomie et Télécommunications"*, 34^{ème} Congrès de la Société d'Ergonomie de la Langue Française, Lannion : CNET, 83-93.
- Chevalier, A. & Bonnardel, N. (2001, in press). Relations de service : comment les concepteurs de sites Web prennent-ils en considération le point de vue du commanditaire ? *Actes du 36^{ème} Congrès de la SELF et du 32^{ème} Congrès de l'ACE* (Montréal, 3-5 octobre).
- McCrickard, D.S. (2001). The effect of changes in information access times on hypertext choices. In M.J. Smith, G. Salvendy, D. Harris, R.J. Koubek, *Usability evaluation and interface design*, Mahwah (N.J.): Lawrence Erlbaum Associates, 1086-1090.
- Nielsen, J. (2000). *Designing Web Usability*. Indianapolis: New Riders Publishing.
- Pribanu, C., Mariage, C. & Vanderdonckt, J. (2001). A corpus of design guidelines for electronic commerce web sites. In M.J. Smith, G. Salvendy, D. Harris, R.J. Koubek, *Usability evaluation and interface design*, Mahwah (N.J.): Lawrence Erlbaum Associates, 1195-1199.
- Scapin, D. L. & Bastien, J. M. C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. *Behaviour & Information Technology*, 16, 220-231.
- Scapin, D.L., Leulier, C., Vanderdonckt, J., Mariage, C., Bastien, J.M.C., Farenc, C., Palanque, P. & Bastide, R. (2000). A framework for organizing web usability guidelines", *Proceedings of the 6th Conference on Human Factors & the Web* (Austin, Texas, June 19th).
- Smith, P. A., Newman, I. A., Parks, L. M. (1997). Virtual hierarchies and virtual networks: some lessons from hypermedia usability research applied to the World Wide Web, *International Journal of Human-Computer Studies*, 47(1), 67-95.
- Tricot, A., Pierre-Demarcy, C. & El Boussarghini, R. (1998). Un panorama de recherches sur l'activité mentale de l'utilisateur d'un hypermédia. *Sciences et techniques éducatives*, 5, 4, 371-400.
- Vora, P. R. & Helander, M. G. (1997). Hypertext and its implications for the internet. In M. Helander, T. K. Landauer, P. Prabhu (Eds), *Handbook of Human-Computer Interaction*. New-York: Elsevier Science, 877-914.

ANNEXE

Cahier des charges spécifique

Le concessionnaire Peugeot, situé à Aix-en-Provence, Bernier-A.G.A., désire présenter trois de ses nouveaux modèles : la 206, la 106 et la 306.

Par ailleurs, il souligne qu'il désire ce site car le marché des voitures neuves est depuis quelques années en baisse.

Ce concessionnaire fournit quelques spécifications relatives au contenu de son futur site :

- Présenter Peugeot
- Indiquer l'adresse du concessionnaire + le plan d'accès
- Présenter les 3 nouvelles générations de voitures : 106 206 306 (+ les séries spéciales)
- Le logo doit apparaître à toutes les pages
- Le délai de réalisation doit être rapide, car il faut pouvoir diffuser ce site sur le Web dans deux mois (au plus tard)
- Le site doit être court : 10 – 15 pages maximum
- Les couleurs du site doivent être en harmonie avec les couleurs du logo Peugeot
- Ce site doit être évolutif, i.e. que le concessionnaire devra pouvoir restructurer partiellement son site en fonction des nouvelles informations qu'il souhaitera communiquer ultérieurement (nouvelles voitures, offres spéciales, etc. ...).
- Proposer des services en ligne : prises de R.D.V., foire aux questions, etc. ...
- Présenter les services de Peugeot
- Respecter le budget alloué : 23 000 Francs T.T.C. (hébergement, nom de domaine, mise à jour pendant 1 an)

Cahier des charges restreint

Un concessionnaire Peugeot localisé à Aix-en-Provence, Bernier-A.G.A., désire présenter trois de ses derniers modèles : la 106, la 206 et la 306.

Par ailleurs, il souligne qu'il désire ce site car le marché des voitures neuves est depuis quelques années en baisse.

Documents proposés aux participants des deux groupes (documents papier et, pour certains, numérisés)

- Plan d'Aix-en-Provence avec emplacement du magasin
- Photographies du magasin
- Photographies et tarifs des 3 voitures à présenter
- Bref historique de Peugeot
- Historique de Bernier
- Article concernant la baisse de la consommation de voitures neuves
- Diverses images
- Présentation des principaux services offerts par Peugeot pour l'achat d'une voiture neuve : (cf. dépliants et photographies)
 - garantie de 2 ans (ou 60 000 km), pièces et main d'œuvre
 - prêt d'une voiture lors d'éventuelles réparations (pendant 2 ans)
 - dépannage sur autoroute au même tarif que sur les routes nationales ou départementales (pendant 2 ans)
 - reprise de votre ancien véhicule quels que soient la marque, le modèle et l'année
 - possibilité de crédit à taux faible et ajusté à chaque client
- E-mail du concessionnaire : peugeot-bernier@wanadoo.fr
 - sites déjà existants de Peugeot (en France) : www.peugeot.com, www.peugeot.fr

Transformer les représentations par les concepteurs des situations d'usage : Une étape pour faciliter la participation des utilisateurs

Marianne CERF
INRA, UMR SAD-APT
16 rue Claude Bernard – 75 231 Paris Cedex 05
mail : cerf@inapg.inra.fr

Résumé

Les travaux sur la conception participative mettent l'accent sur les méthodes pour permettre l'expression des connaissances des utilisateurs et une prise en compte de ces connaissances par les concepteurs. Le travail présenté ici à partir d'une situation de conception d'outils de contrôle de processus dans le secteur agricole, se situe en amont de ces préoccupations et propose une approche centrée sur la transformation des représentations que les concepteurs ont des situations d'usage et des utilisateurs. Cette transformation est opérée par un travail d'analyse des catachrèses instrumentales qu'ont opérés les utilisateurs potentiels pour des outils de travail équivalents à ceux proposés par les concepteurs et par une intégration des résultats de cette analyse dans le processus de conception. Est discuté alors le rôle de cette transformation dans la formulation d'une méthode d'évaluation des outils par les utilisateurs.

Mots clés

Conception participative, modèle de l'utilisateur, conduite de processus continus, agriculture, apprentissages

1. INTRODUCTION

La conception participative est aujourd'hui un nouveau mot d'ordre qui sévit dans de nombreux secteurs d'activité. Elle se veut une réponse aux difficultés rencontrées lors de la transformation des situations de travail et en particulier lors de la conception de nouveaux outils de travail. Son efficacité et son effectivité¹ ne sont néanmoins pas le simple résultat de la bonne volonté, des concepteurs ou du chef de projet, à associer de futurs utilisateurs au processus de conception. Jeantet et al (1996) soulignent par exemple qu'il faut instrumenter de façon adéquate la relation entre les différents acteurs de la conception pour que leurs apports respectifs soient intégrés. En général, deux points sont considérés comme méritant une attention particulière : Le premier touche au choix des utilisateurs à convier pour participer au processus. A ma connaissance, peu de réponses ont été apportées dès lors que les utilisateurs potentiels sont nombreux et travaillent dans des situations différentes. Le second concerne l'élaboration de méthodes qui permettent aux futurs utilisateurs d'être actifs, et à leurs connaissances d'être utilisables, dans le travail de conception.

Dans leur majorité, les méthodes proposées sont conçues pour faciliter l'expression des besoins des utilisateurs lors des boucles de définition et de test d'un produit. Ainsi se développe une

¹ En l'occurrence, cette notion renvoie au fait que les utilisateurs sont certes associés mais que leurs connaissances et leurs avis sont finalement peu pris en compte dans la conception. L'efficacité renvoie ici à l'intérêt de mobiliser les utilisateurs, ce qui est toujours coûteux, en comparaison avec un processus de conception qui n'aurait pas fait ce choix.

ingénierie des besoins (Sommerville et Sawyer, 1997), bien que divers auteurs (André et Wickens, 1995 ; Webb, 1996) évoquent les incompétences des utilisateurs ou les biais d'évaluation engendrés par des critères de préférences des utilisateurs qui n'ont rien à voir avec l'usage qu'ils pourront faire de l'objet à évaluer. D'autres approches (Darses, Sauvagnac & Dewinter, 1998 ; Reuzeau, 2000) mettent l'accent sur l'identification des référents évaluatifs des utilisateurs et sur l'importance de disposer de méthodes et d'outils pour les repérer et les intégrer dans le processus de conception. Cependant, à ma connaissance, peu d'auteurs se sont penchés sur la façon dont les représentations qu'ont les concepteurs des situations d'usage et des utilisateurs jouent sur la façon dont ils pourront valoriser ce qui est dit par les utilisateurs. Ceci est d'autant plus étonnant que de nombreux travaux (par exemple : Akrich, 1990 ; Rabardel, 1995) ont montré que tout nouvel outil incorpore des représentations des situations d'usage et des utilisateurs. Dit autrement, tout concepteur a, de façon plus ou moins explicite, une représentation des utilisateurs et des situations d'usage de l'outil qu'il conçoit.

Je défendrai, dans ce papier, l'idée que la valorisation, par les concepteurs, des évaluations faites par les utilisateurs, dépend certes d'une méthode de conduite et d'analyse de ces évaluations, mais suppose également, en amont, un travail avec les concepteurs sur la façon de représenter les situations d'usage des outils qu'ils proposent et leur diversité. Mon hypothèse est que, pour qu'un nouveau mode de relations s'instaure entre les concepteurs et les utilisateurs, il est nécessaire que des apprentissages ait lieu sur la façon dont l'un et l'autre perçoivent leurs situations de travail respectives. Il s'agit ici de transformer les représentations que les concepteurs ont des situations d'usage et des utilisateurs pour orienter et valoriser le travail des utilisateurs au cours du processus de conception. Ce point de vue s'appuie sur la notion de situations de référence (Daniellou, 1992 ; Daniellou & Garrigou, 1995) mais avec deux modifications notables par rapport à l'usage fait par ces auteurs de cette notion : d'une part les situations de référence sont des situations de catachrèse instrumentale, d'autre part, elles sont mobilisées pour transformer la façon dont les concepteurs conçoivent leur activité et la participation des utilisateurs dans la conception. J'étayerai ce point de vue à partir d'un travail que je réalise actuellement dans le secteur agricole sur la conception d'outils d'aide au contrôle des processus de production. Les données recueillies n'ont pas encore été totalement exploitées et le processus de conception est en cours : les propositions faites ici demanderont à être étayées à l'issue de ce processus après une exploitation plus exhaustive de ces données.

2. LA SITUATION D'ETUDE

Compte tenu de la forte atomisation du secteur agricole (aujourd'hui 500 000 petites à très petites entreprises à caractère souvent familial), les fonctions de recherche-développement ont depuis longtemps été externalisées : ainsi, dès les années 60, la profession a organisé, avec l'appui de l'Etat, des structures de recherche-développement, centres ou instituts techniques, qui ont un rôle clé, en lien avec la recherche agronomique publique, dans l'élaboration de nouvelles méthodes de production ou de gestion de l'exploitation agricole. Conjointement, étaient mises en place des institutions chargées d'assurer le transfert de ces méthodes grâce à l'action des conseillers agricoles. Pendant longtemps, le consensus existant au sein de la profession sur le modèle de production, la faible concurrence entre ces structures sur les ressources financières, et la faible dépendance du niveau de ces ressources aux résultats obtenus, a permis à ces institutions de concevoir des outils en référence à ce modèle de production et sans se préoccuper d'évaluer la façon dont de telles innovations étaient reçues par les agriculteurs. De même, elles ont peu pris en compte les conseillers agricoles, qu'elles considéraient comme de simples relais entre eux et les agriculteurs.

L'éclatement du consensus sur le modèle de production agricole, au sein du monde agricole, mais aussi plus largement dans la société civile, la remise en cause des modes de financement de ces structures mises en place dans les années 60, la volonté accrue de contrôler l'utilisation des ressources allouées, sont des facteurs qui jouent aujourd'hui dans le sens d'une attention accrue aux impacts réels des innovations proposées, à leur « utilité, utilisabilité et utilisation » pour reprendre des termes employés par le directeur d'une des structures de recherche-développement. C'est ainsi que plusieurs pistes sont explorées pour mieux intégrer les utilisateurs au processus de conception des innovations.

Mais il ne faut pas négliger le fait que les modes de travail antérieurs restent prégnants et marquent la façon dont les concepteurs envisagent aujourd'hui la participation des utilisateurs. En particulier, le fait de travailler à partir d'un modèle unique de production, a vraisemblablement conduit les concepteurs à travailler en négligeant la diversité des situations d'usage et en considérant un utilisateur moyen. Comment dépasser cet obstacle aujourd'hui alors que tout un chacun reconnaît la diversité des agriculteurs et de leurs exploitations ? Compte tenu de cette diversité, comment concevoir le processus de conception participative ?

Le travail que j'ai engagé au sein d'un centre technique spécialisé sur les oléagineux tente de répondre à ces questions autour de la mise au point d'un système d'aide à la décision pour lutter contre un champignon (*Sclerotinia*), ravageur pour plusieurs cultures, dont le colza. Ce champignon a rarement des effets importants sur le rendement de cette culture (en moyenne une année sur dix) mais est alors très pénalisant. Le faible coût des traitements disponibles a engendré des comportements d'assurance (traitement préventif) afin de se prémunir de ce risque. Cependant le contexte économique et social change : le prix du colza a fortement diminué, des résistances aux produits à faible coût se développent, les effets sur l'environnement des produits phytosanitaires sont montrés du doigt par la société civile. Dès lors, il est apparu utile au CETIOM de mettre au point des outils qui aident à limiter les traitements en anticipant les attaques éventuelles et leur importance. Plusieurs outils sont en cours d'élaboration. A ce stade, où leur validité scientifique reste encore à établir, et implique un recueil de données dans des situations contrôlées, les concepteurs de ces outils ont cependant d'ores et déjà souhaité travailler sur l'usage de ces outils en grandeur réelle. Pour cela, ils ont sollicité un chercheur agronome de l'INRA ayant déjà eu à concevoir des outils similaires. Ce dernier a proposé de m'associer pour travailler sur cette question des usages.

3. LA DEMARCHE DE TRANSFORMATION DES REPRESENTATIONS DES CONCEPTEURS

Au démarrage du projet, les concepteurs s'interrogent sur la possibilité effective des utilisateurs à mettre en œuvre les modes opératoires qui sont incorporés dans les outils proposés. La question est posée essentiellement en termes de respect de ces modes opératoires car ces derniers conditionnent, pour les concepteurs, la validité des conclusions qui peuvent être tirées à partir des données fournies par l'outil. Ils envisagent un test dans les stations expérimentales par des agents du CETIOM : ils savent pertinemment que ces agents ne seront pas les utilisateurs finaux, mais pensent qu'ils peuvent être représentatifs de ces utilisateurs concernant ces questions de faisabilité opérationnelle.

Avec mon collègue agronome, nous proposons d'ouvrir plus largement l'espace de l'évaluation en suggérant qu'une connaissance plus approfondie des situations d'usage et des utilisateurs peut engendrer des modifications des modalités même de l'évaluation, non seulement en termes de faisabilité opérationnelle mais aussi en termes plus « technique » c'est-à-dire d'élaboration du domaine de validité des interprétations construites à partir des outils. Ce dernier point s'est avéré essentiel pour porter l'adhésion des concepteurs à nos propositions. En mettant en avant le fait que les procédures de validation des informations fournies par l'outil pouvaient se trouver modifier par une prise en compte des usages, les concepteurs ont vu là un enjeu d'élaboration de nouvelles connaissances dans le cœur même de leur activité.

Pour tirer profit de cette ouverture des concepteurs à un élargissement de leur représentation des utilisateurs et des situations d'usage, nous avons adopté une démarche qui consiste, dans un premier temps, à analyser les représentations des concepteurs à partir des outils qu'ils ont conçus. Dans un deuxième temps, ces représentations sont mises en regard de résultats acquis sur les catachrèses instrumentales identifiées à partir de l'utilisation d'autres outils proches de ceux que ces concepteurs avaient mis au point. Ces catachrèses sont présentées aux concepteurs en regard, d'une part, des représentations habituelles des concepteurs, telles qu'elles ont pu ressortir de l'analyse des outils qu'ils ont conçus, et, d'autre part, des conséquences de ces catachrèses sur la nature des informations à fournir, leur échelle d'acquisition, leur moment de recueil, et les conditions organisationnelles que

leur recueil, leur traitement et leur transmission suppose. Dans une seconde étape, des procédures d'évaluation et de participation des utilisateurs à ces évaluations sont définies pour tenir compte des catachrèses identifiées.

3.1. Analyser les représentations des concepteurs sur les situations d'usage et les utilisateurs

Le travail d'analyse s'est fait à partir des caractéristiques des outils actuellement mis au point par le CETIOM. Le premier outil est un kit de diagnostic qui fournit, à la parcelle, la quantité d'innoculum présente. Ce diagnostic suppose de prélever des pétales à un stade précis de développement de la culture, en conditions stériles, de les mettre dans une boîte de Petri, sur un milieu propice au développement du champignon, de les placer au plus vite dans une pièce chauffée à 22°C minimum, et de lire le résultat 3 à 4 jours plus tard. Actuellement, il est demandé de faire 160 boîtes par parcelle. Le second outil est une grille permettant de définir, à la parcelle, le risque d'infestation de la culture par le champignon. Cette grille repose sur une pondération de différents indices qui doivent être renseignés par l'utilisateur. Ces indices correspondent à des caractéristiques des parcelles (historique des successions culturales, pente, exposition...), des caractéristiques du climat au niveau de la parcelle, et une observation des sclérotés présentes dans le champ.

Cette rapide caractérisation des outils proposés par le CETIOM permet d'illustrer la façon dont leurs concepteurs se représentent leurs situations d'usage : Dans les deux cas, l'outil est conçu pour être utilisé à l'échelle de la parcelle. Pour le kit, l'opérateur qui doit mettre en œuvre l'outil n'est pas précisé, mais il est doté d'un objectif et de compétences particulières : Son objectif est de décider de traiter en fonction du niveau d'innoculum, et ses compétences sont multiples : il sait manipuler au champ en conditions stériles, il sait reconnaître un stade de développement, il sait lire un résultat sur un milieu de culture. Enfin, il est doté d'un environnement de travail : il dispose d'un local à la température adéquate, il a du temps pour faire ces observations et manipulations, il n'a pas d'autres sources potentielles d'information. Pour la grille, l'opérateur est surtout doté d'une compétence d'observation des sclérotés et d'un référentiel lui permettant de qualifier sa situation par rapport aux critères prédéfinis dans la grille (par exemple : importance des taux d'attaques de sclerotinia sur la dernière culture sensible au colza, taux d'humidité du sol, ...). Il doit également disposer d'outils pour mesurer la pluviométrie et pour enregistrer des informations sur les successions pratiquées dans ses parcelles et sur les niveaux d'attaque des cultures atteintes de Sclerotinia.

3.2.1. Analyser les catachrèses instrumentales

Pour travailler avec les concepteurs sur leurs représentations des usages, il a été décidé, en accord avec eux, de mieux connaître les situations réelles d'usages, par les agriculteurs, mais aussi, par les conseillers agricoles, d'outils similaires à ceux qu'ils voulaient tester. En effet, bien que les concepteurs aient toujours en tête l'agriculteur comme utilisateur final de leurs outils, ils reconnaissent, dès lors que le doigt est mis sur ce point, que, dans le contexte agricole français, les conseillers ont un rôle important de collecte, de traitement et de transmission d'informations aux agriculteurs.

L'étude s'est surtout focalisée sur les usages déviants par rapport à ceux imaginés par les concepteurs de ces outils. Ce choix repose sur l'hypothèse que ces usages qualifiés de déviants traduisent une certaine adaptation des outils, par leurs utilisateurs, aux situations d'usage. Le choix des outils étudiés s'est fait sur la base :

- des compétences attendues des utilisateurs comparables à celles attendues pour l'utilisation des outils présentés ci-dessus,
- des caractéristiques de développement des phénomènes biophysiques pour lesquels les outils fournissent des mesures directes ou indirectes. Ce dernier aspect est important car la rapidité de développement du phénomène, sa coïncidence avec des stades précis de développement du peuplement cultivé, la nécessaire répétitivité de l'observation sont autant d'éléments qui peuvent influencer les usages qui sont faits,

- de l'échelle à laquelle ces outils sont censés être utilisés (la parcelle).

Ce travail d'analyse a été mené en deux temps. Une première étude (Emonet, 1998) a porté sur l'usage des outils considérés individuellement. Quarante cinq agriculteurs et dix-huit conseillers ont été enquêtés². Leur choix repose sur le souci de couvrir une diversité des situations d'usage³. Une seconde étude (Taverne, 2000) a porté sur la façon dont des structures de conseil mobilisent conjointement différents outils. Il semblait en effet restrictif de considérer que les outils, bien que proposés indépendamment d'autres outils existants, étaient nécessairement pris comme tels. Dix-huit organismes ont ainsi été interrogés sur la façon dont ils agencent les différents outils, les raisons de ces agencements, et la place des différents partenaires dans le fonctionnement de cet ensemble d'outils. Ces organismes ont été choisis selon la méthode du « boule de neige »⁴.

La première étude ne permet pas d'avancer sur les compétences effectivement mobilisées par les opérateurs, et peu sur les conditions matérielles nécessaires à l'utilisation des outils. Il ressort néanmoins clairement que les outils qui nécessitent une rigueur de manipulation (conditions stériles par exemple, échantillonnage structuré...) et qui sont très coûteux en temps sont exceptionnellement utilisés en tant que tel par les agriculteurs qui préfèrent déléguer ces manipulations au technicien quand cela est possible ou s'abstenir d'avoir l'information si la délégation n'est pas envisageable.

Au delà de ces aspects, l'étude fournit des éléments intéressants sur plusieurs points. Le premier point concerne l'échelle d'utilisation des outils. Alors même que les outils, dont l'utilisation faisait l'objet d'une investigation, fournissent des résultats valides à l'échelle de la parcelle, il est apparu que les agriculteurs utilisent certes l'outil sur une parcelle, mais extrapolent, à l'ensemble de leurs parcelles, les résultats obtenus sur la parcelle testée (sauf exception) ; d'autre part, les outils sont souvent mis en œuvre par les conseillers agricoles et dans ce cas, ils sont mobilisés sur un réseau de parcelles. Enfin, il est fréquent que les agriculteurs utilisent ces outils sur des situations pour lesquelles ils ne savent pas quelle décision prendre car ils ne savent pas évaluer le risque à partir de leur expérience. Or bien souvent, il s'agit de situations limites pour lesquelles les outils actuels ne donnent pas de réponse fiable car ils ont généralement été validés dans les situations les plus fréquemment rencontrées. Un deuxième point concerne les objectifs assignés à l'outil. Conçus pour aider l'agriculteur à prendre une décision, ils sont utilisés par les conseillers pour établir des recommandations destinées aux agriculteurs. Enfin, le troisième point souligné par cette étude porte sur le rôle de l'outil dans le processus de décision. Il est rare que les agriculteurs appuient leur décision sur la simple information fournie par l'outil : certains se reposent entièrement sur le technicien pour prendre leur décision, d'autres sur leur expérience, d'autres enfin combinent l'usage d'un outil avec des avis plus ou moins nombreux. Enfin, les agriculteurs recherchent souvent des informations plus précoces que celles fournies par un outil mobilisé au stade critique en relation avec leur besoin de réaliser leurs achats avant que les maladies se développent compte tenu des politiques de vente des organismes qui approuvent en produits des agriculteurs.

La seconde étude montre que les organismes de conseil ont conduit une analyse comparée des différents outils existants pour aider à prendre une décision, et qu'ils identifient ainsi une complémentarité des outils qu'ils mettent au service d'une politique de relation avec les agriculteurs, que celle-ci soit à visée commerciale (Coopératives) ou d'accompagnement technique (Coopératives

² Les catachrèses n'ont pas été identifiées par observation de l'usage mais par une description de l'utilisation des outils par les agriculteurs ou les conseillers. Ce choix de passer par l'enquête est certes discutable, mais est lié à la grande diversité des situations de travail des agriculteurs comme des conseillers. Plutôt que de caractériser finement quelques situations d'usage, il a été jugé préférable de couvrir une diversité. Le mode de conduite de l'entretien est évidemment déterminant. Pour plus d'éléments sur les guides utilisés voir Emonet (1998), et Taverne (2000).

³ Pour plus de détail sur la méthode d'échantillonnage, voir Emonet, 1998.

⁴ Cette méthode consiste à ne pas définir un échantillon *a priori* mais à enquêter un premier sujet et à lui demander d'indiquer quelle est la personne la plus éloignée de ce qu'il vient de nous exposer. L'enquête s'arrête quand un entretien avec un nouveau sujet n'apporte plus d'informations nouvelles par rapport à ce qui a déjà été recueilli, ce qui laisse penser que la diversité sur le thème qui fait l'objet de l'enquête a été explorée.

parfois, Chambres d'Agriculture, Protection des Végétaux). Pour faire jouer cette complémentarité, ces structures s'appuient sur des dispositifs organisationnels variés tant pour recueillir les informations utiles au fonctionnement des outils que pour diffuser les résultats élaborés. Ces dispositifs traduisent la façon dont les organismes de conseil gèrent les dimensions spatiales et temporelles du recueil, du traitement et du transfert d'informations liées à l'usage conjoint des différents outils et à la fonction de conseil qu'ils assurent auprès des agriculteurs. Ils traduisent également la façon dont ils perçoivent les contraintes de mise en œuvre des outils et les compétences des agriculteurs pour ce faire.

3.3. Transformer les représentations des concepteurs

C'est à partir de la mise en évidence de ces catachrèses instrumentales repérées dans les deux études sus-mentionnées, que des réunions ont eu lieu avec les concepteurs. La démarche adoptée a été de présenter les catachrèses observées après avoir décrit succinctement la représentation de l'utilisateur et des situations d'usage qui ressort de l'analyse faite des outils. Cette présentation s'est centrée sur les catachrèses concernant le mode de structuration de l'information dans le temps et dans l'espace, et sur la mise en évidence de la diversité des objectifs des agriculteurs et des conseillers quant à l'usage qu'ils font des outils. Ces éléments ont été fournis sans référence à des caractéristiques précises des situations d'usage (par exemple éléments de structure de l'exploitation, degré d'insertion d'un agriculteur dans un réseau de conseil, mode d'organisation du conseil dans une coopérative ou une Chambre d'Agriculture) car les données recueillies ne permettaient pas de mettre en relation les catachrèses observées et les situations d'usage. Néanmoins, les données recueillies dans la seconde étude sur l'usage conjoint d'outils au sein d'organismes de conseil, ont été présentées en insistant sur la diversité des modes d'organisation des organismes de conseil (moyens d'analyse disponibles, personnel mis à disposition pour réaliser le recueil sur le terrain, moyens de traitements disponibles, type de relation instauré avec les agriculteurs pour ce qui est de la remontée d'information sur les parcelles et pour la transmission de résultats issus de la mise en œuvre des outils...). Ces éléments qui renvoient à des questions relatives à l'organisation mais aussi aux compétences disponibles sont plus difficilement intégrés par les concepteurs au niveau même des outils : c'est dans les modes de validation des outils qu'ils vont intervenir (voir *infra*).

L'intégration de ces résultats s'est faite pendant deux années et s'est traduite par une nouvelle formulation du problème de conception, de nouvelles propositions de solutions et de dispositifs de test des outils. En effet, les concepteurs ont mené une analyse plus fine des outils qu'ils proposaient, mais aussi d'autres outils disponibles sur le marché pour évaluer les risques d'infestation du colza par le sclerotinia, pour discuter des données nécessaires à leur mise en œuvre, des informations qu'ils apportent et pour situer ces informations dans le temps. Ainsi, les concepteurs ont montré leur souci, nouveau, de prendre en compte la dimension temporelle du processus de décision et, conjointement, du processus à piloter. Ayant pris conscience que les outils étaient souvent utilisés en extrapolant les résultats à d'autres parcelles que celle sur laquelle les mesures sont faites, ils ont envisagé différemment la validation des outils en travaillant cette dernière à la fois à l'échelle parcellaire et à l'échelle d'un réseau. Enfin, ils ont soutenu la seconde étude avec l'intention d'en tirer des enseignements pour imaginer comment combiner différents outils. Dès lors que les résultats de la seconde étude ont été disponibles, ils ont ainsi bâti des scénarios combinant les différents outils dans le temps et dans l'espace ce qui les a conduit à un double travail de mise en perspective : d'une part en réfléchissant à la façon de combiner les outils, d'autre part en acceptant de décomposer les outils qu'ils avaient conçus. C'est ainsi qu'ils ont suggéré, par exemple, d'utiliser une partie de la grille pour identifier les situations ayant un fort potentiel d'infestation du colza par le sclerotinia sur lesquelles pourraient alors être appliqué le kit pétales soit au sein d'un réseau, soit chez un agriculteur. C'est ainsi qu'ont également été proposés de nouveaux modes opératoires (remise en cause de la nécessité d'une collecte des pétales en conditions stériles par exemple).

Enfin, la présentation des catachrèses instrumentales les a incités à rechercher d'autres façons d'évaluer les outils et d'autres procédures d'association des utilisateurs. En effet, à l'évaluation de la faisabilité opérationnelle par les expérimentateurs du CETIOM, s'est substitué un travail d'évaluation par les organismes de conseil d'une part, par les agriculteurs d'autre part. Les organismes de conseil sollicités tant sur la faisabilité des modes opératoires proposés pour les outils que sur la faisabilité organisationnelle des scénarios proposés. Par faisabilité organisationnelle, il faut entendre une évaluation à la fois sur les flux d'informations entre les différents partenaires susceptibles d'être impliqués, et sur les moyens techniques et humains que cela nécessitent. Ainsi, 40 partenaires différents (dont des Chambres d'Agriculture, des Coopératives et des négociants privés, des services de la Protection des Végétaux, des stations expérimentales du CETIOM) ont été impliqués dans le test des outils selon un protocole défini par le CETIOM et avec un travail préalable d'information sur la démarche de test et sur les outils.

A cette étape du travail, où il n'est plus envisagé une utilisation directe des outils par les agriculteurs, ces derniers sont sollicités pour évaluer les critères et règles de décision qui sont inclus dans chaque scénario ainsi que les flux d'informations que chaque scénario suppose pour lui. 40 agriculteurs sont choisis de façon à couvrir une certaine diversité de pratiques de protection contre le sclerotinia que l'on croise avec une diversité de potentiels d'infestation par la maladie lesquels sont estimés à partir des caractéristiques pédo-climatiques de la région et des systèmes de culture pratiqués. Lors des enquêtes, les pratiques effectives des agriculteurs font l'objet d'un recueil ainsi que leur appréhension du risque de maladies fongiques⁵ sur leur exploitation avant toutes questions visant l'évaluation des outils.

4. DISCUSSION

A cette étape de la recherche, il paraît possible d'avancer que les concepteurs ont transformé leurs représentations : à un opérateur isolé, ils ont substitué un opérateur, situé dans un réseau d'acteurs, qui participe à la collecte des données nécessaires pour le fonctionnement des outils et à l'utilisation des informations produites par ces outils. A un usage atemporel et non situé dans l'espace d'action des utilisateurs, ils ont substitué un usage qui prend en compte les espaces organisationnels des utilisateurs et les contraintes temporelles qui peuvent exister tant pour le flux d'informations que pour le processus décisionnel en tant que tel. A des situations d'usage considérées comme équivalentes à une station expérimentale, ils ont substitué une variété de situations représentées par les réseaux d'acteurs et les moyens techniques nécessaires à la mise en œuvre conjointe d'outils.

Il est néanmoins difficile d'évaluer la réelle modification des représentations des concepteurs. Les transformations constatées dans la formulation du problème et dans les solutions envisagées, les actions engagées par les concepteurs pour valider et évaluer les outils peuvent être considérées comme des indicateurs. Pour ce qui concerne les premiers aspects, seule une analyse fine des réunions de conception et un travail d'auto-confrontation avec les concepteurs permettra de les considérer comme des indicateurs pertinents. En ce qui concerne les actions, l'étude des justifications que les concepteurs leur donnent est un moyen d'analyser les changements qui se sont opérés dans la représentation des situations d'usage et l'intérêt qu'ils accordent à la participation des utilisateurs. Ce travail d'analyse reste à réaliser.

Si la transformation des représentations des concepteurs apparaît une étape nécessaire pour changer la façon d'associer les utilisateurs à la conception, il n'est pas possible, en l'état actuel du projet, de dire si ceci est suffisant. La transformation des représentations des utilisateurs

⁵ Comme nous l'avons dit, le sclerotinia est un champignon. Le traitement contre celui-ci peut s'effectuer de façon à lutter contre d'autres champignons qui se développent plus tardivement et pour lesquels il devient impossible d'intervenir compte tenu de la hauteur du colza à ce moment là. Le traitement contre le sclerotinia peut donc viser d'autres maladies.

quant à leur rôle au sein du processus de conception, le travail sur la mobilisation effective de leur expertise dans le processus de conception sont aussi des points clés de la réussite de démarches de conception participative. Cependant, dans le contexte agricole, il apparaît difficile d'associer directement les agriculteurs et les conseillers au processus de conception du fait de la grande diversité des situations. Ainsi, dans la démarche, la participation des utilisateurs n'est pas directe, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas présents aux réunions de conception : ils évaluent les outils en les utilisant (organismes de conseil) et lors d'entretiens menés auprès d'eux (agriculteurs et conseillers) par un des concepteurs selon une méthode en cours de test actuellement. Cette méthode repose sur une présentation des outils et sur une demande d'évaluation tout d'abord ouverte puis guidée de façon à passer en revue différents axes selon lesquels un tel outil peut-être évalué. La partie ouverte doit servir à élargir, si besoin, le nombre d'axes à considérer, la partie guidée devant permettre de comparer les jugements émis par les différents utilisateurs. L'intégration des points de vue émis par les différents utilisateurs reste encore un point à approfondir.

BIBLIOGRAPHIE

- Akrich, M. (1990). De la sociologie des techniques à une sociologie des usages : l'impossible intégration du magnétoscope dans les réseaux cablés de première génération, *Techniques et Cultures*, 16, 83-110.
- André, D.A., & Wickens, C.D. (1995). When users want what's not best for them. *Ergonomics in Design*, Oct.
- Daniellou, F. (1992). Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Toulouse le Mirail.
- Daniellou & Garrigou (1995). La mise en œuvre des représentations des situations passées et des situations futures dans la participation des opérateurs à la conception. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.). *Représentations pour l'action* (pp.), Toulouse, Octarès.
- Darses, F., Sauvagnac, C., & Dewinter (1998). Conception continue du système de production : quels enjeux et quelle mise en œuvre ? Communication présentée au XXXIIIème congrès de la SELF, Sept., France, Paris.
- Emonet, E. (1998). *La communication entre agriculteurs et prescripteurs à travers l'utilisation des outils de pilotage du blé et du colza*. Mémoire de D.A.A., Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Rennes.
- Jeantet, A., Tiger, H., & Vinck, D. (1996) La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.) *Coopération et conception* (pp. 87-100), Toulouse, Octarès
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies*. Armand Colin.
- Reuzeau, F. (2000). *Assister l'évaluation participative des systèmes complexes : rôles des savoirs et savoir-faire des utilisateurs dans la conception d'un poste d'avion*. Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- Taverne, M. (2000). *Contribution à la conception d'un système d'aide à la décision pour les traitements contre le sclerotinia du colza*. Mémoire de D.E.S.S., Ecole Nationale des Ingénieurs des Techniques Agricoles, Clermont Ferrand.
- Sommerville, I. & Sawyer P. (1997). *Requirements engineering : a good practice guide*. John Wiley
- Webb, B. (1996). The role of users in interactive system design : when computers are theatre, do we want the audience to write the script ? *Behaviour and Information Technology*, vol 15, n°2, 76-83.

Session 2

Situations dynamiques

Erreurs de conduite et besoins d'aide : une approche accidentologique

Pierre Van Elslande

INRETS-MA - Chemin de la Croix Blanche - 13300 Salon de Provence
elslande@inrets.fr

RÉSUMÉ

Ce texte présente un cadre d'analyse des "erreurs accidentelles", particularisé au domaine de la conduite automobile et à ses spécificités (complexité, dynamique, imprécision des normes, etc.). Ce cadre correspond d'une part à la définition d'une grille de lecture des "défaillances fonctionnelles" auxquelles sont confrontés les conducteurs ; il s'appuie d'autre part sur une description des mécanismes d'accidents sous la forme de "scénarios-types" qui visent à rendre compte de régularités dans les processus de production et les contextes générateurs de dysfonctionnements. L'intérêt d'une telle approche est débattu, du point de vue de l'enrichissement des connaissances qu'elle permet d'amener sur l'implication relative des différents processus à l'œuvre dans différentes situations (e.g. spécificité des scénarios d'erreurs impliquant des personnes âgées), ainsi que sous l'angle opérationnel de la définition de contre-mesures qu'elle autorise (aide à la conduite).

MOTS-CLÉS

Erreur humaine - Conduite automobile - Accident - Aide à la conduite - Cognition située

1 UNE CONDUITE PARMIS D'AUTRES

La conduite automobile est une activité qui a fait couler beaucoup d'encre. De nombreux modèles ont tenté d'en rendre compte, les uns recourant aux théories classiques de la psychologie du "traitement de l'information" pour appréhender l'activité de l'opérateur (modèles de fonctionnement du conducteur), les autres tentant de faire ressortir les spécificités de la tâche que ce conducteur a pour charge d'accomplir (modèles de la tâche de conduite). Malgré la simplicité apparente qui ressort du fonctionnement en grande partie automatisé des conducteurs, la plupart de ces modèles mettent l'accent sur la complexité inhérente à la réalisation de cette l'activité. Complexité, au sens où les situations qu'appréhende l'opérateur comportent de multiples variables en interaction, une dynamique temporelle, des objectifs peu clairs, parfois conflictuels, et dans certains cas un risque élevé (De Keyser, 1988).

De multiples variables en interaction

Comme le souligne Saad (1987), une composante de base du système routier consiste globalement en sa grande diversité, eu égard aux environnements traversés, aux véhicules rencontrés dont les caractéristiques dynamiques peuvent différer fortement, ainsi qu'aux opérateurs qui ont des degrés d'expérience et de familiarité à certains lieux très variables, ce qui implique des comportements différents. Cette diversité nécessite de la part des conducteurs des capacités d'adaptation hautement organisées permettant la sélection d'une réponse adaptée aux fluctuations des situations rencontrées.

Une dynamique temporelle

Le caractère essentiellement dynamique de la conduite impose des contraintes très fortes sur les modes de régulation opérés. Pour gérer une situation, même complexe, un conducteur ne disposera au mieux que de quelques secondes durant lesquelles il devra recueillir l'information pertinente, l'analyser de manière appropriée, opter pour la meilleure décision et mettre en œuvre les actions régulatrices adaptées. Ce faible décours temporel révèle la nécessité pour le conducteur de développer des procédures prévisionnelles lui permettant de mieux contrôler les situations. Toutes les étapes

fonctionnelles impliquées dans l'activité entretiennent un certain niveau de dépendance à cette fonction cognitive essentielle qu'est l'anticipation dans les situations dynamiques (Hoc, 1996). Les contraintes imposées au conducteur par la nature dynamique de la tâche impliquent par ailleurs que les problèmes rencontrés soient le plus souvent résolus à l'issue d'une activité de compréhension (de "re-connaissance") faisant correspondre le problème actuel à une catégorie de situation-problèmes dont les caractéristiques repérables, les évolutions possibles et les solutions trouvées ont été mémorisées (Van Elslande, 1992).

Des objectifs peu clairs et parfois conflictuels

A la différence de beaucoup d'activités de travail, même isomorphes comme le pilotage aérien ou maritime, la conduite d'une automobile est une activité relativement peu structurée (Saad, 1987) au sens d'une préorganisation normative des objectifs, des moyens et des procédures correspondant à ce que la psychologie du travail nomme la "tâche prescrite" (Leplat & Hoc, 1983). Cette faible structuration formelle implique la nécessité pour le conducteur d'élaborer individuellement, à mesure de son expérience, tout un ensemble de stratégies de traitement et d'habiletés procédurales résultant de l'intégration progressive, sous forme d'expertise, de modes de résolutions adaptés aux différentes conditions de réalisation de son activité. Par ailleurs, en termes de "tâche effective"¹, tout conducteur doit constamment opérer un compromis entre deux objectifs globaux souvent contradictoires : l'un correspondant à une exigence de rapidité qui conditionne fréquemment le recours à ce mode de déplacement (à la fois en termes de motivation et de contraintes situationnelles), l'autre à une exigence de sécurité nécessitant notamment des régulations de la vitesse désirée, celles-ci ne pouvant par ailleurs s'opérer que dans une certaine marge autorisée par le trafic environnant (Malaterre, 1987).

Dans certains cas un risque élevé

Cette notion de compromis se trouve bien illustrée par l'élaboration de modèles de type homéostatique montrant une fluctuation dans les niveaux de risque en fonction des objectifs et motivations des conducteurs (Wilde, 1988). Le risque est une composante inhérente à beaucoup de situations de conduite², et joue un rôle crucial dans la régulation de l'activité du conducteur (Saad, 1988). Les modèles développés autour de cette notion mettent en relation le risque "objectif" relatif à une situation donnée et le risque "subjectif" correspondant à l'évaluation du danger par un conducteur à un moment donné et découlant à la fois de données perceptives, cognitives et motivationnelles. La rencontre quotidienne de situations "à risques" implique une fois encore l'aspect primordial pour les conducteurs de l'élaboration de connaissances concernant les probabilités d'occurrence de certains événements, leur permettant notamment d'opérer les prévisions essentielles sur la survenue et le complotement des autres usagers.

En fonction de critères généraux tels que le caractère répandu, au sein de notre culture, de l'activité de conduite automobile dans les pratiques quotidiennes, l'aspect généralisé de la formation qui permet d'y accéder, l'absence de hiérarchisation des fonctions selon les opérateurs, etc., on peut développer l'argumentation suivant laquelle cette activité de conduite constitue un exemple type de *conduite* humaine située, dont l'analyse peut contribuer à enrichir la connaissance des modes de fonctionnement génériques de l'homme dans son milieu expérientiel. Les caractéristiques de cette tâche, notamment du point de vue des contraintes temporelles et dynamiques qui la sous-tendent, permettent en effet de mettre en valeur certaines difficultés spécifiques qui se posent à l'individu.

2 ERREURS ET VIOLATIONS

Les concepts d'*erreur* et plus récemment de *violation*, qui cherchent à rendre compte des différents niveaux d'implication de l'opérateur dans la dégradation des situations, font toujours débat.

¹ Au sens de Leplat & Hoc (1983), c'est-à-dire : le modèle interne qui guide effectivement et non pas normativement l'activité du sujet

² Ce dont atteste le nombre d'accidents mortels qui surviennent chaque année (ONSIR, 1998), en dépit des mesures mises en place par les différentes instances ayant en charge la sécurité routière.

2.1. Dans la littérature

Pour expliquer une catastrophe ou un accident, un poids important a longtemps été (et est encore souvent) attribué au "facteur humain", à "l'erreur humaine", regardés comme causes principales des dysfonctionnements (Amalberti, 2001). Les travaux réalisés en ergonomie, en relation notamment avec l'émergence de la théorie des systèmes, ont pourtant depuis fort longtemps amené à nuancer ce regard porté sur l'homme, en mettant l'accent sur le fait que s'il était source de variabilité, le "maillon fragile" du système, il constituait tout en même temps un agent de fiabilité sans lequel le système ne pourrait pas fonctionner (Faverge, 1970). En filigrane des différentes définitions que l'on donne de l'erreur dans la littérature ergonomique, transparait l'idée d'écart, de déviation à une norme plus ou moins explicite (Leplat, 1999). Mais comme l'indique Cellier (1990), l'utilité d'une telle définition reste conditionnée au degré de précision et d'opérationnalité de la norme de référence, pour autant qu'elle existe. Une difficulté provient notamment du caractère multiréférentiel de cette norme, selon que l'on se place du point de vue du concepteur, de l'expert, de l'opérateur, etc. Une seconde variable permettant de définir l'erreur réfererait selon De Keyser (1989) à la question du choix : il n'y aurait erreur que dans la mesure où certains degrés de liberté seraient laissés à l'opérateur. Si la situation à laquelle il est confronté ne permet pas de choix, il n'y aura pas d'erreur possible ou, du moins, l'erreur n'incombera pas à l'opérateur. Reason (1993) introduit une troisième variable permettant de caractériser les erreurs des opérateurs : l'intentionnalité du résultat. Il n'y aurait erreur que lorsque le sujet n'atteint pas le but souhaité lors de l'exécution d'une séquence planifiée d'activités mentales ou physiques, et lorsque ces échecs ne peuvent pas être attribués à l'intervention du seul hasard. La notion d'erreur ne couvre donc pas pour cet auteur toutes les formes de contribution des êtres humains aux accidents. Les actes insécuritaires qui sont mis en œuvre intentionnellement sont identifiés en tant que "violations", définies comme la transgression délibérée (mais pas forcément malveillante, ni nécessairement répréhensible d'un point de vue légal) d'un code de comportement établi ou socialement admis pour assurer le fonctionnement en sécurité d'un système potentiellement dangereux (Parker *et al*, 1995).

Le dénominateur commun à ces différentes acceptions de l'erreur est l'accent mis sur la relation à son contexte de production. L'erreur est toujours résultante d'une interaction entre l'opérateur et les conditions externes de la tâche à réaliser.

2.2. Sur la route

Ces questions de définition se posent d'autant pour une activité comme la conduite automobile. Si des normes techniques de conception et d'entretien existent pour la route et pour les véhicules, une référence à la norme est beaucoup moins évidente à définir pour le conducteur (et la valeur de l'écart à cette norme supposée, encore moins). En fait, toute une variété de stratégies sont permises au conducteur, pourvu qu'il aboutisse au "bon" résultat, c'est-à-dire en fin de compte qu'il parvienne à destination sans être victime d'un accident ni faire l'objet d'une contravention. Ni le code de la route, ni la formation qui y fait majoritairement référence, ne permettent de définir l'ensemble des procédures auxquelles pourraient avoir recours les conducteurs pour faire face à l'extrême diversité des situations susceptibles d'être rencontrées sur la route. Reflétant beaucoup plus les aspects légaux de la conduite que ses aspects opératoires, le code de la route ne peut donc être utilisé comme substitut pour définir un comportement normatif de référence par rapport auquel on pourra mesurer des écarts, que ce soit en terme d'erreurs ou de violations¹. Il est à cet égard beaucoup trop imprécis et il ne tient pas compte des capacités des conducteurs ni de leurs limites, au point que les consignes qu'il donne sont parfois irréalistes (Rothengatter, 1997).

En bref, la conjugaison de la grande variabilité des situations routières et de la faible prédétermination des moyens et des procédures à utiliser pour y faire face, ne permet pas de définir de manière stricte des normes de conduite par rapport auxquelles on pourrait facilement mesurer des écarts, et donc des erreurs. En accidentologie, on palliera cette difficulté en considérant sans équivoque l'accident comme un écart à la norme du déplacement sûr. Cependant, un écueil auquel on est confronté lorsqu'on analyse des accidents, découle de ce qu'on recueille seulement les erreurs dont

¹ Comme l'indique Rothengatter (1997), le concept de *violation* présuppose, au même titre que le concept d'*erreur*, la référence à une performance normative dont le comportement s'écarterait intentionnellement dans le premier cas, et de façon non planifiée dans le second.

les conditions du milieu ont permis une dégradation, sans que l'on sache si l'erreur qui est à la base de tel ou tel accident est rare ou fréquente, et sans qu'on sache non plus si le même comportement n'aurait pas pu être considéré comme "normal" dans des conditions légèrement différentes. Neboit (1996) critique la tendance à associer erreur et accident, quand cette relation est loin d'être systématique. Et comme l'indique Amalberti (1996), à trop regarder les erreurs des opérateurs, on finit par oublier que beaucoup d'accidents sont évités grâce aux acteurs du système, même si on ne dispose pas de statistiques à cet égard. Par ailleurs (et par définition), les études d'accidents ne permettent pas d'appréhender de tels mécanismes de récupération des erreurs. L'analyse accidentologique doit en conséquence être vue comme une contribution, sous l'angle des dysfonctionnements, à la compréhension des processus cognitifs engagés par les individus dans les systèmes complexes, qui appelle une articulation avec les travaux qui s'intéressent au fonctionnement de ces mêmes individus en situation dite "normale".

3 APPROCHE ACCIDENTOLOGIQUE

L'étude des accidents utilisée dans une démarche diagnostique telle qu'elle est pratiquée en ergonomie (Spérandio, 1980), permet de mieux cibler les points critiques, ceux qui posent concrètement problème aux opérateurs. Son intérêt réside notamment en ce qu'elle rend possible la construction de typologies de mécanismes, permettant de rendre compte de la combinaison de multiples variables concourant au même phénomène. L'apport étiologique des analyses d'accidents laisse toutefois apparaître certaines limites incontournables, concernant d'une part la validité des données recueillies, d'autre part la généralisabilité des résultats obtenus par leur exploitation. Pour ce qui est du premier point, le caractère faiblement prévisible des accidents implique en effet que les chercheurs peuvent difficilement en être témoins, ce qui justifie le recours à des méthodes d'enquête rétrospective. Ce type de méthode soulève un certain nombre de problèmes tels qu'en fait état Sheehy (1981) en termes de "pièges méthodologiques", comme la tendance à la rationalisation des témoignages, à l'inférence causale, etc. Le second point est en relation directe avec le caractère pluricausal de l'accident. Ainsi, l'une des difficultés rencontrées dans l'exploitation d'un ensemble de descriptions d'accidents provient de la double nécessité de rendre compte de la complexité du phénomène, de la diversité des circonstances de son occurrence, et d'arriver malgré tout à des résultats d'un certain degré de généralité (Ho *et al.*, 1986). La multicausalité de l'accident tend, pour peu que son analyse atteigne un certain niveau d'approfondissement, à faire de chaque accident un cas particulier et à les rendre de la sorte difficilement comparables l'un à l'autre. Mais, pour être "accidentel", un tel phénomène n'en comporte pas moins des régularités dans ses conditions de production et son déroulement qu'une approche scientifique peut permettre de repérer¹.

3.1. Une méthode : l'étude détaillée des accidents (EDA)

Fortement développées dans les années 70 (Fell, 1976 ; Treat *et al.*, 1979), les études "en profondeur" (*In-depth*) d'accidents ont vu par la suite leur attrait décroître dans la communauté des chercheurs, en relation avec leur coût et leur difficulté de mise en œuvre (Grayson, et Hakkert, 1987). Mais si elles ne permettent bien évidemment pas de tout expliquer, les analyses de données détaillées d'accidents présentent l'avantage de focaliser la recherche sur les erreurs (notamment) qui posent un réel problème de sécurité. C'est d'autre part ce qui permet de mettre en évidence les mécanismes explicatifs de la production de ces défaillances, du point de vue des situations dans lesquelles elles émergent et des facteurs qui en sont à l'origine. Les travaux initiaux dans le domaine demandent cependant à être réactualisés en fonction de l'avancement des connaissances sur les processus fonctionnels qui gouvernent l'activité des conducteurs.

Les travaux qui sont succinctement présentés ici reposent sur l'analyse de données provenant d'un recueil approfondi réalisé dans un premier temps sur la scène même des accidents et complété dans les jours qui suivent en fonction des hypothèses soulevées par les éléments initiaux de l'enquête (Ferrandez *et al.*, 1995). Réalisé par des équipes pluridisciplinaires, ce recueil couvre les trois composants du système routier : les conducteurs, les véhicules et les infrastructures. Chaque accident

¹ Même s'il peut paraître surprenant, à première vue, de vouloir dégager des "lois" à partir de phénomènes "accidentels", par définition non réguliers.

recueilli donne lieu à une analyse de cas comprenant une reconstitution spatio-temporelle de son déroulement permettant d'étayer les informations recueillies. La phase d'analyse, qui s'appuie sur cette reconstitution, consiste en une décomposition du scénario d'accident en termes de séquences d'événements :

- La *situation de départ* spécifie les conditions générales dans lesquelles le déplacement a été entrepris, du point de vue notamment des motifs du trajet, du choix de l'itinéraire, etc.

- La *situation de conduite* est celle dans laquelle se trouve l'utilisateur avant qu'un problème ne se manifeste. C'est la situation "normale" ou "stable", qui se caractérise pour le conducteur par la mise en œuvre d'une tâche spécifique dans un contexte donné, avec certains objectifs, certaines attentes, etc.

- La *situation d'accident* correspond au moment, en général très bref, où une rupture se produit par rapport à la séquence précédente, c'est à dire un événement imprévu qui va faire basculer le conducteur vers une situation d'urgence.

- La *situation d'urgence* est la période pendant laquelle le conducteur va tenter de revenir à la situation normale en engageant une manœuvre d'urgence, c'est-à-dire une tentative de récupération.

- La *situation de choc* est celle qui marque l'échec de la manœuvre d'évitement. Elle englobe le choc et ses conséquences.

La mise en évidence de ces "situations" permet de reconstituer de manière homogène les différentes étapes séquentielles de l'accident, ce qui rend possible non seulement l'analyse de chaque cas du point de vue du processus qui le génère, mais aussi la mise en place d'études transversales sur plusieurs accidents par confrontation des différentes étapes de leur déroulement.

L'analyse qui suit se focalise sur la situation dite "d'accident", étape charnière qui fait basculer le conducteur d'une situation en marche normale vers une situation en marche dégradée. Cette étape de transition constitue un bon vecteur de comparaison des accidents entre eux, dans la mesure où elle marque l'entrée dans un processus de dysfonctionnement. Dans l'enchaînement des défaillances qui conduisent au choc accidentel, nous avons donc cherché à identifier celles qui caractérisent cette phase de rupture et qui expliquent le basculement du conducteur en situation critique.

3.2. Un cadre d'analyse : les scénarios-types de défaillances fonctionnelles

L'implication de l'homme dans la production des incidents et accidents, fait depuis de nombreuses années l'objet d'études approfondies dans le domaine de la conduite automobile, distinguant notamment ce qui est de l'ordre de "l'erreur" et ce qui est de l'ordre de "l'infraction". Ces travaux ont amené à considérer l'erreur humaine comme le produit non désiré de la confrontation d'un conducteur à une tâche complexe, qui fait interagir des déterminants internes, propres à ce conducteur, avec des déterminants externes correspondant au contexte de réalisation de son activité de conduite. Sous cet angle d'analyse, la composante humaine de l'erreur est appréhendée en tant que *défaillance fonctionnelle* (Malaterre, 1990), c'est-à-dire la défaillance d'une des fonctions qui permettent habituellement au conducteur de réguler son activité dans le sens d'une adaptation réussie aux difficultés rencontrées dans l'accomplissement de sa tâche.

Défaillances fonctionnelles et leurs éléments explicatifs

Prendre le parti de travailler sur l'erreur humaine dans l'accident en termes de défaillances fonctionnelles ne revient pas à limiter l'analyse à ses seuls déterminants humains. L'objectif visé par un tel regard porté sur l'erreur consiste à montrer comment les dysfonctionnements dans les interactions du système Homme-Véhicule-Environnement s'expriment au plan des fonctions engagées par celui qui en a le contrôle direct : le conducteur. "L'erreur accidentelle" constitue en ce sens un observable révélateur des difficultés que rencontre ce conducteur dans la réalisation de son activité au sein d'un contexte donné. Plutôt que de mettre en cause le composant humain de ce système, il s'agit donc bien de mettre en évidence les mécanismes explicatifs de la production de telle ou telle défaillance, en relation avec le contexte de conduite dans lequel elle s'inscrit.

Une telle recherche a été réalisée sur la base d'une particularisation des modèles "classiques" d'analyse des erreurs (Rasmussen, 1981 ; Reason, 1993) aux spécificités des processus à l'œuvre dans les accidents de la route (Van Elslande, 2000a). En terme de résultats généraux, un examen global de la répartition des défaillances accidentogènes identifiées dans les corpus d'accidents montre que les aspects perceptifs, liés aux problèmes de *visibilité* et aux *stratégies de prise d'information*, prennent

une place importante dans les défaillances fonctionnelles qui ont fait basculer le conducteur en situation d'accident. Mais un regroupement des problèmes liés au *diagnostic* porté sur les situations et au *pronostic* de leur évolution montre une incidence prépondérante des défaillances fonctionnelles correspondant au "traitement de l'information". Comparativement à cet ensemble de difficultés relatives à *l'analyse de la situation*, la proportion prise par les défaillances liées à *l'exécution de l'action* est beaucoup plus modeste, ce qui atteste que les accidents dus à un défaut d'habileté (physique) sont minoritaires (Malaterre, 1987). De telles "erreurs" dans la réalisation de l'action apparaîtront beaucoup plus à l'étape ultérieure de l'accident : celle où le conducteur tente de récupérer la situation en réalisant une manœuvre d'urgence. De tels résultats suggèrent que si l'on cherche à éviter que le conducteur ne bascule en situation critique, les contre-mesures doivent mettre l'accent sur les aspects cognitifs impliqués dans l'activité de conduite.

Par ailleurs, toujours en termes de résultats généraux, une telle analyse permet de montrer que même si l'on investigate les erreurs du point de vue de la défaillance des processus *cognitifs* impliqués dans l'activité de conduite, l'origine de ces erreurs n'est pas à rechercher uniquement du côté des *connaissances* mises en œuvre (i.e. variables liées à l'expérience). La genèse des ces défaillances fait aussi intervenir tout un ensemble de paramètres, notamment conatifs, relatifs aux motivations (e.g. rattraper un retard), aux émotions (impatience, peur), à l'état psychologique (niveau d'attention) et physiologique (niveau de vigilance), etc. En outre, ces facteurs humains de l'erreur interviennent en étroite combinaison avec les facteurs environnementaux, correspondant aux conditions externes de réalisation de la tâche (intensité du trafic, complexité et lisibilité des aménagements, etc.). Une analyse explicative de la contribution de ces différents facteurs à la production des erreurs montre que ces dernières sont loin de provenir du seul "facteur humain". Si dans un échantillon de 440 situations accidentelles nous avons pu effectivement montrer l'intervention d'une erreur dans près de 90 % des cas, il s'avère que ces erreurs se fondent en majorité sur une interaction entre des variables endogènes (trouvant leur source chez le conducteur) et des variables exogènes (prenant leur source dans l'environnement de sa tâche), ce qui souligne notamment la difficulté d'analyser le phénomène accidentel à partir d'une approche mono-causale.

Scénarios types

Une fois identifiées, ces différentes défaillances sont répertoriées au sein de scénarios-types de dysfonctionnements qui correspondent à des regroupements d'accidents se déroulant dans des conditions très similaires. Ces scénarios décrivent la genèse globale de l'erreur, selon un certain nombre de paramètres fédérateurs :

- La *situation de pré-accident* décrit la tâche de conduite que l'usager cherchait à accomplir, dans laquelle le processus de dysfonctionnement est intervenu, ainsi que les exigences liées à la réalisation de cette tâche "actuelle" du point de vue de la rencontre d'une interaction spécifique avec une autre composante du système (un autre usager de la route, un type de lieu spécifique, etc.).
- Les *éléments explicatifs* correspondent aux principaux paramètres du contexte de conduite (relatifs à la route, au conducteur, aux autres usagers, aux conditions de réalisation la tâche) qui ont contribué à l'émergence de la défaillance fonctionnelle de l'usager face à la situation routière à gérer et à ses exigences particulières.
- La *défaillance fonctionnelle*, à partir de laquelle une situation de conduite préalablement stable va s'orienter vers une situation d'accident.
- L'*événement critique* résultant de la défaillance fonctionnelle, qui correspond à la mise en œuvre (ou la poursuite) d'une stratégie incompatible avec les paramètres de l'interaction rencontrée, et dont l'impact sera :
- L'*accident*, caractérisé par une certaine configuration de choc.

L'intérêt de la définition de tels scénarios génériques est de permettre de rendre compte de différents modes de construction d'une défaillance fonctionnelle de la part de conducteurs confrontés à certaines difficultés durant leur trajet, qu'il n'ont pas pu gérer du fait des paramètres du contexte interne et externe de réalisation de leur activité. Ces scénarios dressent ainsi le "tableau clinique" des "pathologies" qui conduisent à la production d'une erreur. Ils permettent d'aller plus loin dans la compréhension de phénomènes dont les enjeux peuvent apparaître ou non à la lumière des études

statistiques. Leur mise en évidence permet par ailleurs de contribuer à la prescription de remèdes adaptés aux problèmes posés et aux conditions dans lesquelles ils émergent.

Les deux sections suivantes rendent compte du double intérêt d'une telle approche d'analyse, du point de vue de l'approfondissement des connaissances sur une thématique spécifique et du point de vue opérationnel des actions à définir dans une perspective ergonomique.

4 LES ERREURS DE CONDUITE ET LEURS EVOLUTIONS

Parmi les questions d'actualité concernant les problèmes de sécurité, la population des personnes âgées représente un enjeu majoritairement reconnu dans le domaine du transport routier. Ces personnes occupent en effet une place de plus en plus importante sur la route et posent un certain nombre de questions, notamment sur leurs capacités à intégrer dans leur conduite les potentialités offertes par les dispositifs technologiques supposés aider le conducteur dans la réalisation de sa tâche. Mais en dehors de données relativement générales sur les problèmes auxquels ils sont confrontés, on sait encore peu de choses sur la nature particulière des difficultés qu'ils rencontrent et des erreurs qu'ils commettent sur la route, ainsi que sur la spécificité des scénarios d'accidents dans lesquels ils sont impliqués (Van Elslande, 2000b). Cette section présente quelques données descriptives permettant de comparer les conditions d'occurrence des accidents des conducteurs âgés de plus de 60 ans ($n=57$, $m=69.2$ ans, $sd=6.12$) à celles d'autres conducteurs ($n=335$).

Tâches de dysfonctionnement

Dans l'échantillon étudié, les conducteurs âgés rencontrent comparativement aux autres beaucoup plus de problèmes dans les situations de traversée d'intersection non prioritaire et légèrement plus durant la réalisation de manœuvres particulières, et notamment les changements de direction vers la gauche (figure 1). Signalons que la rubrique "circulation stabilisée" recouvre l'ensemble des tâches de type conduite en file, négociation de virages, etc., qui rendent beaucoup moins compte des erreurs de ces conducteurs. Si un tel constat n'a rien de très novateur, il montre néanmoins la cohérence de cet échantillon avec les données statistiques relatives à l'accidentabilité de cette population (Preusser *et al*, 1998).

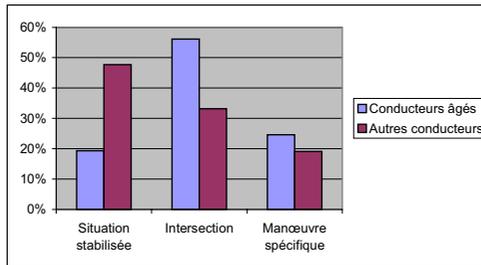


Figure 1. Catégories de tâches de dysfonctionnement

Défaillances fonctionnelles

Si l'on cherche à qualifier maintenant les catégories d'erreurs qui sont les plus fréquemment commises, l'examen de la figure 2 nous révèle - toujours comparativement aux autres conducteurs de l'échantillon - une plus forte proportion de défaillances dans le domaine de la perception et du diagnostic, ainsi qu'un pourcentage beaucoup plus important de défaillances globales, défaillances qui correspondent à une perturbation de l'ensemble de la chaîne fonctionnelle impliquée dans l'activité de conduite (de la perception à l'action).

Une analyse plus détaillée de ces données en termes de "types d'erreurs" fait ressortir les points suivants. Au plan *perceptif*, les défaillances les plus marquées concernent : la saisie d'information focalisée sur une composante partielle de la situation (19% de l'ensemble des erreurs), la recherche sommaire d'information (9%) et la non détection liée à une gêne à la visibilité (9%). Au niveau du

diagnostic, les problèmes soulevés font essentiellement référence à l'évaluation d'un créneau d'insertion dans le trafic (11%) et à la mauvaise compréhension du fonctionnement d'un site routier (9%). Mais c'est dans le domaine des défaillances globales que se démarque le plus cette population du reste de l'échantillon, avec 19% des défaillances qui renvoient à un dépassement des capacités cognitives (désorganisation de l'activité) au moment de la rencontre d'une difficulté au cours du trajet.

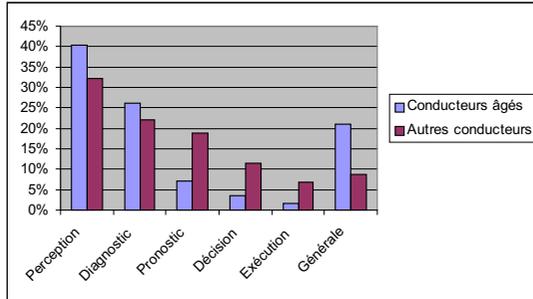


Figure 2. Catégories de défaillances

Eléments explicatifs

Les principaux éléments permettant d'expliquer l'émergence de telles "erreurs" peuvent se distinguer selon qu'ils soient plutôt centrés sur l'opérateur ou sur la situation extérieure à laquelle il était confronté. La genèse des défaillances fonctionnelles des personnes âgées fait ressortir des variables d'état comme les problèmes de *vigilance*, *d'attention* et de *distraction* (11%), ainsi que la *lenteur de réaction* (10%). Pour ce qui concerne les variables liées à l'expérience, ressortent des éléments tels que la *pratique épisodique de la conduite* (9%) et la *méconnaissance des lieux* (8%). S'agissant des variables liées aux conditions internes de réalisation de la tâche, la mise en œuvre d'une *conduite routinière*, en mode "automatique"¹ (7%) et les problèmes d'*orientation directionnelle* (7%) apparaissent au premier plan. Parmi les éléments exogènes auxquels cette population est plus sensible, on relève le poids des caractéristiques d'infrastructure telles que les problèmes liés à la *complexité du site*, à la *lisibilité*, à la *signalisation* (8%) et les problèmes de *visibilité* (6%). Pour les éléments relatifs au trafic environnant ressortent le *caractère atypique du comportement d'un autre conducteur* – signaux émis, manœuvre engagée – (8%), la *pression du trafic* ou *l'effet d'entraînement* (4%), ainsi que la *difficulté d'obtenir un créneau* de traversée (4%). Mais comme indiqué plus haut, plusieurs éléments de différents ordres se combinent pour expliquer la genèse d'une défaillance fonctionnelle². On notera toutefois que, comparativement aux autres, les conducteurs âgés de notre échantillon -et notamment les plus âgés d'entre eux- montrent une tendance à produire plus d'erreurs dont les origines sont uniquement endogènes, et moins d'erreurs dont les origines sont seulement exogènes.

Scénarios

A titre indicatif, sont listés ici les scénarios-types de production des erreurs les plus récurrents dans lesquels se trouvent impliqués les conducteurs âgés de l'échantillon étudié. Ces données demandent à s'enrichir d'un plus grand nombre de cas pour acquérir une meilleure valeur descriptive.

Scénario type P2a : Focalisation sur un problème directionnel. En traversée d'intersection ou en manœuvre de bifurcation, le conducteur cherche une destination sur un itinéraire mal connu, que la signalisation directionnelle et la lisibilité des lieux ne lui permettent pas d'identifier aisément. Se

1 Ce qui les amène notamment à développer des attentes trop fortement orientées sur une certaine évolution des situations (Van Elslande et Alberton, 1997).

2 Dans une proportion moyenne de 3 éléments par défaillance.

focalisant sur son problème directionnel, il engage sa manœuvre sans plus prendre d'information sur le trafic environnant.

Scénario type P3c : Recherche d'information précipitée. Le plus souvent en situation de traversée d'intersection difficile du fait de la configuration des lieux et de l'intensité du trafic, les conducteurs affectent une contrainte de temps à la réalisation de leur manœuvre et opèrent une recherche d'information précipitée qui ne correspond pas aux exigences de la tâche (contraintes environnementales) et ne leur permet donc pas d'identifier un obstacle potentiel.

Scénario type T2b : Mauvaise évaluation d'un créneau liée à une faible attention portée à la manœuvre. Ce qui caractérise les conducteurs impliqués dans ce type d'accident, c'est la grande familiarité qu'ils ont de la manœuvre qu'ils cherchent à réaliser. Souvent combinée avec une faible vigilance liée à la fatigue, cette familiarité les amène à couper la trajectoire d'un véhicule faute d'avoir accordé assez d'attention à la vitesse de rapprochement de ce véhicule qu'ils ont pourtant détecté.

Scénario type G3a : Dépassement des capacités de traitement en situation d'interaction avec le trafic. S'ils sont arrivés sans encombre jusqu'au point de l'accident, les conducteurs semblent avoir été complètement "dépassés" au moment de la rencontre d'une interaction avec d'autres véhicules en intersection. Ces conducteurs n'ont pas été à même d'effectuer un séquençage correct des opérations à mettre en œuvre. Toutes les phases nécessaires à la réalisation d'une telle manœuvre étant affectées, les conducteurs engagent en fin de compte leur manœuvre sur la trajectoire d'un usager prioritaire.

De telles données sont à prendre en compte dans une optique de définition de mesures de sécurité susceptibles de répondre aux spécificités de cette catégorie de conducteurs. La question des aides notamment, qui est débattue dans la section suivante, nécessitera un examen attentif à cet égard.

5 BESOINS D'AIDE ET LIMITATIONS

Les évolutions technologiques de ces dernières décennies ont rendu possible l'élaboration de dispositifs sophistiqués, susceptibles d'aider le conducteur en cherchant à compenser certaines de ses déficiences dans certaines situations, quitte à modifier la tâche qui lui incombe, par la transmission d'informations ajoutées ou la prise en charge plus ou moins automatisée de sous-tâches critiques. Mais pour rendre opérationnelle l'intégration de tels dispositifs dans l'activité, il convient de soulever un certain nombre de questions qui dépassent une démarche *technocentrée* (Noy, 1997) considérant qu'il suffit à un dispositif d'être au point techniquement pour devenir une aide à la conduite. Ces questions réfèrent à l'analyse psycho-ergonomique (*ethnocentrée*) des interactions entre l'homme et la machine, au sens où l'objet d'étude n'est ni la machine pour elle-même, ni l'homme indépendamment de son "travail", ni même le "travail" en tant que tel, mais l'homme opérant dans des conditions données, avec des caractéristiques et des objectifs propres (Spérandio, 1980). C'est dans cette perspective qu'a été engagée une série de travaux portant sur les besoins des conducteurs en aide.

Définition des "besoins"

Dans la mesure où il n'est pas envisageable de fournir une quantité illimitée de messages, il importe de savoir quelles sont les informations les plus pertinentes dont l'opérateur a besoin pour conduire plus sûrement. Une première étape d'analyse (Van Elslande & Malaterre, 1987) a consisté à identifier, pour chacune des défaillances fonctionnelles mises en évidence, la nature des informations qui ont manqué au conducteur pour lui permettre de ne pas entrer dans un processus accidentogène. L'objectif était de mettre en évidence des "besoins en assistance" et de spécifier les circonstances dans lesquelles ces besoins apparaissaient. Pour arriver à définir les différentes catégories de besoins, on est parti d'une analyse qualitative d'un échantillon de cas couvrant un large éventail d'accidents en termes de manœuvre origine, de type d'infrastructure et de type de collision. Ces accidents ont été analysés et classés en groupes homogènes du point de vue des fonctions du conducteur (détecter, identifier, prévoir, etc.) qui n'avaient pas "fonctionné" efficacement, c'est-à-dire correctement rempli leur rôle dans le processus dynamique qui a conduit à l'accident. Il s'agit donc d'un repérage des grandes catégories d'erreurs, puis, par déduction, de la détermination des besoins correspondants. Ces besoins font référence à un diagnostic des lacunes du système routier, susceptibles de contribuer à la

mauvaise gestion de certaines difficultés par les usagers de ce systèmes. Dit autrement, le besoin a été défini en négatif de la défaillance, comme la condition qui aurait permis la mise en œuvre sans erreur de la fonction incriminée, la satisfaction de ce "besoin" étant considérée comme ayant permis d'éviter l'erreur et par conséquent l'accident. Bien évidemment, il s'agit là d'une démarche relativement risquée, puisque toute "erreur dans l'identification de l'erreur" orienterait vers de "faux besoins" et donc ultérieurement vers la proposition d'aides à la conduite inadaptées (Van Elslande & Malaterre, 1996). D'où la nécessité pour ce faire, de s'appuyer sur une méthode systématisée qui repose sur des données suffisamment riches et éprouvées.

Cette étude a ainsi amené la définition de 17 besoins sécuritaires en diagnostic, détection, estimation, prévision et contrôle, couvrant les différents processus de dysfonctionnement repérés dans les études détaillées d'accidents.

Evaluation quantitative des besoins

Une fois les grandes catégories d'erreurs identifiées et les bases de la méthodologie d'analyse mises sur pied grâce à l'étude détaillée d'accidents, nous nous sommes tournés vers d'autres données d'accident pour obtenir la représentativité nécessaire pour une évaluation au plan national (Fontaine *et al*, 1989). En effet, si le recours à des études approfondies est nécessaire pour définir le mécanisme de "l'erreur processus", des données moins précises comme les procès verbaux établis par les services de police permettent néanmoins d'identifier "l'erreur résultat" (Van Elslande & Malaterre, 1996) et par conséquent de faire des inférences sur l'isomorphisme des processus correspondant à des contextes de production d'erreurs similaires. Nous avons donc utilisé un fichier INRETS représentatif au 1/50ème des statistiques nationales, fichier qui permet non seulement l'exploitation informatique des informations codées, mais aussi (surtout) l'accès aux procès-verbaux d'origine, qui ont tous été consultés et analysés (n=3500). Ce travail a permis d'évaluer quantitativement l'importance relative des différents besoins diagnostiqués par une approche plus "clinique". Les résultats obtenus ont révélé notamment une forte proportion des besoins en aide au niveau des agglomérations, ce qui n'est pas sans poser problème du point de vue des dispositifs du fait de la multiplicité des paramètres à prendre en compte.

Adéquation des aides au besoins

Cette évaluation quantitative des besoins a ensuite permis d'apprécier quelle pourrait être l'efficacité de certaines aides à la conduite, notamment celles qui ont été définies dans le cadre du programme européen Prometheus. Plus précisément, on a évalué au cas pas cas quelle était la capacité de chacune de ces aides à remplir les besoins identifiés, un des résultats marquant étant que les dispositifs "d'actualité", tels les régulateurs automatiques d'interdistance, seraient parmi les dispositifs à l'étude les moins susceptibles d'avoir un impact sur la sécurité (Malaterre *et al*, 1991). Bien entendu, comme pour tout ce qui a trait à l'évaluation *a priori*, on est là sur un terrain glissant car on ne connaît que de manière très approximative les caractéristiques attendues de ces aides, et on ne sait pas non plus quel usage en feront les conducteurs. On peut ainsi redouter des effets pervers, liés à l'éventualité que les conducteurs intègrent les modifications (et notamment les gains sécuritaires) apportées par ces aides dans leurs stratégies de conduite, et prennent en conséquence davantage de risques. Une telle approche permet néanmoins de contextualiser les problèmes, de hiérarchiser les enjeux et de montrer ainsi les cibles vers lesquelles il s'agit de s'orienter prioritairement. Sa validité implique une réactualisation des études à mesure des précisions apportées aux spécifications des aides, ainsi qu'une mise en relation de ces travaux menés dans une logique d'ergonomie de conception avec d'autres études qui s'appliquent à mettre en évidence des difficultés qui se posent dans l'utilisation effective des dispositifs existants, dans une perspective correctrice (Saad & Villame, 1996).

Limitations potentielles

Une dernière étape de travail a consisté à isoler dans les contextes de production des accidents, l'ensemble des éléments qui pourraient limiter la détection, le "traitement" et l'action du conducteur vis-à-vis d'informations susceptibles de lui être fournies dans l'environnement de sa tâche (Van Elslande & Nachtergaele, 1992). Par un retour aux données détaillées d'accidents, cette étude a permis de faire ressortir un certain nombre de limites aux capacités d'intégration par les conducteurs

d'informations ajoutées à leur tâche, les unes correspondant à des éléments susceptibles d'amener une négligence involontaire de l'aide (e.g. vigilance perturbée), les autres pouvant générer un rejet plus ou moins volontaire de l'aide (e.g. jugements et attentes). La mise en évidence circonstanciée de ces limitations potentielles a débouché sur des recommandations ergonomiques visant à maximiser les gains sécuritaires attendus de l'intégration de dispositifs d'aide dans la tâche de conduite.

6 CONCLUSION

La mise en évidence de scénarios types de production de l'erreur apparaît comme une voie prometteuse pour mieux comprendre les mécanismes génériques qui conduisent dans certains contextes à la défaillance des fonctions humaines engagées dans l'activité, généralement adaptatives. Constitué actuellement sur un corpus d'environ 400 cas, de tels scénarios font l'objet d'une étude en cours sur une base de données correspondant à un millier de situations accidentelles. Une telle extension permettra d'en accroître la robustesse et autorisera la mise en œuvre de recherches thématiques sur les spécificités des dysfonctionnements qui impliquent telle ou telle catégorie de conducteurs (deux roues, seniors, etc.), de configurations d'infrastructure (virage, intersection, etc.), ainsi que sur l'influence relative des différents facteurs impliqués (vitesse, alcool, vigilance, etc.). Ce type de résultats sera par ailleurs à articuler avec les travaux qui s'intéressent aux activités hors accident, et ce, dans un intérêt réciproque : mettre l'accent sur les erreurs qui posent un problème avéré de sécurité, pas toujours identifiables par l'analyse de l'activité normale, et appréhender les mécanismes de leur récupération, par définition impossibles à étudier à partir de données d'accidents.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : PUF.
- Amalberti, R. (2001). La maîtrise des situations dynamiques. In J.M Cellier & J.M. Hoc (Eds), *La gestion d'environnements dynamiques. Psychologie Française*, 46(2), 107-118.
- Cellier, J.M. (1990). L'erreur humaine dans le travail. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*. Marseille : Octares.
- De Keyser, V. (1988). De la contingence à la complexité: l'évolution des idées dans l'étude des processus continus. *Le Travail Humain*, 51(1), 1-18.
- De Keyser, V. (1989). L'erreur humaine. *La Recherche*, 20(216), 1444-1455.
- Faverge, J.M. (1970). L'homme, agent d'infiabilité et de fiabilité du processus industriel. *Ergonomics*, 13(3), 301-327.
- Fell, J.C. (1976). A motor vehicle accident causal system. *Human Factors*, 18, 85-94.
- Ferrandez, F. (Ed.) (1995). *L'étude détaillée d'accidents orientée vers la sécurité primaire: méthodologie de recueil et d'analyse*. Paris : Presses de l'ENPC.
- Fontaine, H., Malaterre, G., Van Elslande, P. (1989). *Evaluation de l'efficacité potentielle des aides à la conduite*. Rapport de recherche INRETS n° 85.
- Grayson, G.B., & Hakkert, A.S. (1987). Accident analysis and conflict behaviour. In T. Rothengatter & R. de Bruin (Eds.), *Road users and traffic safety*. Assen: Van Gorcum.
- Ho, M.T., Bastide, J.C., & François, C. (1986). Mise au point d'un système destiné à l'exploitation de comptes-rendus d'analyse d'accidents du travail. *Le Travail Humain*, 49(2), 137-146.
- Hoc, J.M. (1996). *Supervision et contrôle de processus : la cognition en situation dynamique*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hoc, J.M. & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39(2), 177-192.
- Leplat, J. (1999). Analyse cognitive de l'erreur. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 49(1), 31-41.
- Leplat, J., & Hoc, J. M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3(1), 49-63.
- Malaterre, G. (1987). *Les activités sous contrainte de temps : le cas des manoeuvres d'urgence en conduite automobile*. Thèse, Université René-Descartes, Paris.

- Malaterre, G. (1990). Error analysis and in-depth accident studies. *Ergonomics*, 33(9/10), 1403-1421.
- Malaterre, G., Fontaine, H. & Van Elslande, P. (1991). *Analyse des besoins des conducteurs à partir de procès-verbaux d'accidents : évaluation a priori des fonctions Prometheus*. Rapport de recherche INRETS n°139.
- Neboit, M. (1996). Erreur humaine et prévention : le point de vue de l'ergonome. In B. Cambon de Lavalette & M. Neboit (Eds), *L'erreur humaine: question de point de vue ?* Toulouse: Octares.
- Noy, Y. I. (1997). Human factors in modern traffic systems. *Ergonomics*, 40(10), 1016-1024.
- ONISR (1998). *Bilan annuel: année 1998*. Observatoire national interministériel de sécurité routière.
- Parker, D., Reason, J., & Manstead, A., & Stadling, S. (1995). Driving errors, driving violations and accident involvement. *Ergonomics*, 38(5), 1036-1048.
- Preusser, D. et al (1998). Fatal crash risk for older drivers at intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 30(2), 151-159.
- Reason, J. (1993). *L'erreur humaine* (J.M. Hoc, Trad.). Paris: Presses Universitaires de France. (Édition originale, 1990).
- Rothengatter, J.A. (1997). Errors and violations as factors in accident causation. In J.A. Rothengatter & E. Carbonell Vaya (Eds), *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application*. Oxford: Pergamon Press.
- Saad, F. (1987). Analyse et modèle de la tâche de conduite. In F. Saad (Ed.), *L'analyse des comportements et le système de circulation routière*. Actes INRETS.
- Saad, F. (1988). Prise de risque ou non perception du danger? *Recherche-Transports-Sécurité 18-19*, 55-62.
- Saad, F., & Villame T. (1996). *Assessing new driving support systems: contribution of an analysis of drivers' activity in real situations*. Proceedings of the third annual world congress on Intelligent Transport Systems.
- Sheehy, N. P. (1981). The interview in accident investigation: methodological pitfalls. *Ergonomics*, 24(6), 437-446.
- Spérandio, J.C. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Treat, J.R., Tumbas, N.S., Mc Donald, S.T., Shinar, D., Hume, R.D., Mayer, R.E., Stansufer, R.L., & Castellan, N.J. (1979). *Tri-level study of traffic accidents: final report*. Institute for Research in Public Safety : Indiana University.
- Van Elslande, P. (1992). Les erreurs d'interprétation en conduite automobile : mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas ? *Intellectica*, 15, 125-149.
- Van Elslande, P. (2000a). L'erreur humaine dans les scénarios d'accident : cause ou conséquence ? *Recherche Transports Sécurité*, 66, 7-33. Numéro spécial "Psychologie de la conduite".
- Van Elslande, P. (2000b). *Elderly drivers : what errors do they commit on the road ?* Proceedings of the 14th IEA Congress, 3, 259-262.
- Van Elslande, P., & Alberton, L. (1997). When expectancies become certainties : a potential adverse effect of experience. In J.A. Rothengatter & E. Carbonell Vaya (Eds), *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application*. Oxford: Pergamon Press.
- Van Elslande, P., & Malaterre, G. (1987). *Les aides à la conduite: analyse des besoins en assistance des conducteurs*. Rapport de recherche INRETS n° 23.
- Van Elslande, P., & Malaterre, G. (1996). Chercher l'erreur dans l'accident. In B. Cambon de Lavalette & M. Neboit (Eds), *L'erreur humaine: question de points de vue ?* Toulouse: Octares.
- Van Elslande, P., & Nachtergaele, C. (1992). *Aides à la conduite et fonctionnement du conducteur en situation : l'accident de la route, révélateur de limitations potentielles à la prise en compte des aides informatives*. Rapport de recherche INRETS n°149.
- Wilde, G.J.S. (1988). Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deduction and discussion of dissension in recent reactions. *Ergonomics*, 31(4), 441-468.

Des représentations singulières d'une situation d'interaction aux prédictions d'action convergentes

Christophe Mundutéguy

Laboratoire de Psychologie de la Conduite – INRETS
2, Ave. du Gal Malleret-Joinville
F-94114 Arcueil Cedex
christophe.munduteguy@inrets.fr

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif de formaliser les processus de prédiction d'action dans des situations de gestion d'interaction. Au cours de la projection de parcours de conduite automobile recueillis en situations réelles, on a demandé à dix sujets experts en conduite automobile de prédire les actions des conducteurs avec lesquels ils interagissaient ou étaient susceptibles d'entrer en interaction. Les résultats qui sont présentés dans cette communication portent sur les éléments de la prédiction d'action. Bien que les sujets aient une conscience de la situation qui leur est spécifique, on souligne que celle-ci n'entraîne pas de prédictions divergentes. Les résultats tendent à montrer que la prédiction d'action est fondée sur un processus de reconnaissance de situation.

MOTS-CLÉS

Reconnaissance d'intention et prédiction d'action d'autrui, gestion des interactions, environnement dynamique partagé, conduite automobile.

1 INTRODUCTION

Certaines activités collectives ne permettent pas aux opérateurs de communiquer explicitement leurs objectifs aux autres. La gestion des interactions est alors réalisée à partir d'une prise d'information sur le comportement d'autrui afin d'inférer l'orientation de son activité (Zachary & Robertson, 1990). Le référentiel opératif commun participe à l'élaboration de ce type d'inférence (Terressac & Chabaud, 1990). A cette première difficulté peut s'adjoindre la rapidité du processus dans lequel les opérateurs interagissent. Dans ce type de situation, sous fortes contraintes temporelles, les processus de régulation de l'activité passent par une reconnaissance de la situation, qui est suivie d'une évaluation des actions à mettre en œuvre et de leur simulation mentale. La première action qui aura été jugée satisfaisante par l'opérateur sera alors réalisée (Klein, 1993). L'évaluation s'effectue à partir de l'appariement entre les événements situationnels et les connaissances, qui sont possédées en mémoire sous forme de schémas (Lipshitz, 1997). Les produits de cette évaluation sont non seulement des attentes et des indices de confirmation de l'interprétation mais également des buts et des actions à mener (Klein, 1997).

L'activité de conduite automobile, qui peut s'apparenter à un contrôle de processus individualisés dans un environnement dynamique partagé, présente toutes ces caractéristiques. A plusieurs égards, on peut rapprocher l'environnement routier du champ commun de travail de Schmidt (1994), dans lequel des opérateurs sont en interdépendance. Selon les situations, les interactions entre conducteurs peuvent prendre la forme d'une coaction (Rogalski, 1994) mais également d'une compétition. Quelle que soit la forme de l'interaction, celle-ci contribue à la dynamique de l'environnement. L'activité du

conducteur dépend donc à la fois de ses objectifs (ou motivations), des paramètres comportementaux de son véhicule et de l'évolution du milieu dans lequel il progresse. La rapidité du processus exige de la part de chaque conducteur la réalisation de pronostics sur l'évolution de la situation.

Le collectif, qui correspond à l'ensemble des conducteurs partageant un même environnement aux instants t et $t+1$, reste très sommaire. Les conducteurs ne possèdent pas de connaissance spécifique sur les modes opératoires des autres. De plus, ils disposent d'outils de communication limités (clignotants, appels de phare, warning) qui peuvent être ambigus (Renge, 2000). Ils sont donc amenés à réaliser des inférences sur le comportement à venir d'autrui afin d'anticiper d'éventuels conflits.

Des travaux ont signalé les difficultés rencontrées par les conducteurs dans cette gestion des interactions. Ceux-ci rendent compte de l'occurrence de certains accidents (Malaterre, 1990) ou de conflits de trafic (Risser, 1985). Différents éléments à l'origine de ces dysfonctionnements ont été identifiés tels que la référence à des systèmes de règles (formelles ou informelles) contradictoires par les différents acteurs d'une situation, le défaut de communication entre usagers ou l'incompréhension du comportement ou des intentions d'autrui. Dans tous les cas, ces éléments soulignent l'absence d'un référentiel opératif commun.

L'incompréhension du comportement ou des intentions d'autrui semble être au cœur de la gestion des interactions entre conducteurs. Des analyses approfondies de l'activité dans des situations de conduite spécifiques telles que le franchissement d'intersections (Saad, et al, 1990) ou la conduite en file sur autoroute (Saad, 1996), confirment que les comportements adoptés par les conducteurs en situation d'interaction dépendent étroitement de l'interprétation du comportement des autres usagers et de la prévision de leurs actions. Ces analyses montrent également que certaines régulations entreprises par les conducteurs (réduction des marges en conduite en file ou maintien de l'allure en présence d'un autre usager au carrefour) ont pour objet de communiquer leurs intentions aux autres usagers et/ou d'influencer leurs comportements.

La recherche que nous présenterons dans cette communication a pour objet d'approfondir l'analyse des modalités de prédiction d'action dans la gestion des interactions entre conducteurs et d'en proposer une première formalisation.

2 SITUATION ETUDIEE : LA CONDUITE EN FILE SUR AUTOROUTE URBAINE

On considère généralement que la conduite en file commence dès qu'un conducteur ne peut plus pratiquer la vitesse de son choix du fait de la présence d'autres usagers sur sa voie (Leutzbach, 1974) mais également dans certains cas, sur les voies adjacentes. L'activité individuelle est donc déterminée par son interférence avec celle des autres usagers. Elle consiste à s'adapter à la dynamique de l'environnement (variations du trafic et de l'infrastructure) et en particulier à anticiper ou détecter les variations "critiques", qui exigent une action régulatrice afin de réduire le risque. Dans cette condition de circulation où les comportements sont étroitement interdépendants, l'adaptation du conducteur va dépendre des marges de sécurité qu'il adopte et du contrôle de son interaction avec les autres usagers (Saad, 1996).

Gérer efficacement les interactions avec les autres usagers exige donc, de la part du conducteur, compréhension de leur conduite et prévision de leurs actions. C'est pourquoi nous avons cherché à déterminer comment un conducteur prédisait l'action d'autrui.

3 HYPOTHESES

L'objectif de cette étude est donc d'explorer la façon dont les conducteurs infèrent les actions à venir d'autres conducteurs. Comme nous l'avons déjà souligné, les outils de communication mis à la disposition des conducteurs sont particulièrement limités. Nous faisons donc l'hypothèse que l'anticipation de l'action d'autrui passe par des recueils d'indices dans la situation d'interaction, qui ne sont pas nécessairement issus d'une communication explicitement adressée. Au cours de sa pratique de conduite, le conducteur doit développer une représentation pertinente des situations, qui comprend l'élaboration de nouvelles connaissances ainsi que de règles informelles.

Ces connaissances spécifiques, qui sont liées à l'histoire de chaque conducteur, doivent entraîner des représentations de la situation d'interaction différentes. Nous faisons l'hypothèse que la spécificité des systèmes de référence des conducteurs entraînent des différences au niveau de leur représentation de la situation (conscience de la situation). Les indices qui seront signalés par les sujets dans l'anticipation de la situation d'interaction doivent donc être différents.

Enfin, la gestion des interactions en conduite automobile s'inscrit dans un processus rapide. Les délais entre la prise d'information et la décision d'action peuvent parfois être très courts. Nous faisons l'hypothèse que les sujets fondent leurs prédictions d'action sur la base d'une reconnaissance de situation. Ce processus automatique (ou semi-automatique) devrait entraîner la référence à un faible nombre d'indices dans les situations coutumières. En revanche, dans les situations plus atypiques et donc plus rares, les sujets devraient se trouver dans une situation de résolution de problème. Les indices signalés devraient être plus nombreux.

4 METHODE : ANALYSE DES PREDICTIONS D'ACTION EN SITUATION SIMULEE

L'étude a été réalisée en laboratoire à partir de neuf films recueillis en situation réelle de conduite (Saad, 1990). Parmi ces enregistrements de parcours autoroutiers, nous avons identifié 161 situations d'interaction (*Si*) entre véhicules. Une *Si* est une situation au cours de laquelle, un individu *A* est potentiellement amené à prendre en compte la comportement d'un individu *B*, qui interagit ou est susceptible d'interagir avec lui.

Sur la base de cette définition, notre corpus de *Si* s'étend des situations qui présentent une forte interférence (probabilité élevée de conflit) telles que les situations dans lesquelles les véhicules ont des trajectoires convergentes combinées à des vitesses qui pourraient entraîner un impact, aux situations à faible interférence telles que le rattrapage d'un véhicule situé sur une file adjacente, qui n'a pas manifesté explicitement l'intention de changer de file (absence de départ, absence de clignotant, etc.).

Dans chacune de ces *Si*, l'interaction pouvait ou non entraîner une prise en compte de l'individu *B* par l'individu *A*, qui à son tour entraînerait ou non un changement d'intention et une adaptation de la part de *A* à travers un changement de comportement. L'interaction peut être directe ou indirecte. Dans ce dernier cas, un véhicule tiers *B* est intercalé entre les véhicules *A* et *C*. L'interaction entre *A* et *C* est potentielle du fait du comportement de *C* (trajectoire qui converge vers la voie où est déjà engagé *A*).

Après avoir déterminé les *Si* de chaque parcours, nous avons visionné ces parcours à dix sujets experts en conduite, qui ne connaissaient pas le trajet. Chaque sujet voyait quatre parcours. Au cours de chaque projection, nous interrompons le film aux moments d'interaction, afin que le sujet commente les intentions des conducteurs des véhicules environnants et justifie sa prédiction à partir des indices qu'il avait prélevés dans la *Si*. Les sujets ont ainsi été confrontés à un échantillon de 40 à 77 *Si*.

Les commentaires des sujets constituent nos données. Elles ont été analysées comme dans l'exemple suivant (Tableau 1).

Verbalisation	Codage
<p><i>Quelle est l'intention du véhicule derrière le camion ?</i></p> <p>Je pense qu'il va déboîter à gauche ou alors il va rester à son allure. J'ai pas bien analysé la vitesse à laquelle il roulait. Oui, je pense qu'il va déboîter à gauche.</p> <p><i>C'est son allure ?</i></p> <p>Non, c'est le fait /qu'il venait de la droite complètement... donc en fait...^{j1} Oui, /son allure aussi/ⁱⁱ et c'est /le fait qu'il vient de... de déboîter d'une bretelle/ⁱ et donc /il se retrouve derrière un camion/ⁱⁱⁱ. Par rapport à /l'allure/ⁱⁱ ... par rapport au fait qu'il n'y avait pas d'obstacle, qu'il n'y avait pas de camion devant lui/ⁱⁱⁱ, je pense que c'est pour ça qu'il va aller sur la file de gauche, qu'il va doubler.</p> <p><i>S'il avait eu une voiture devant lui, il n'aurait pas déboîté ?</i></p> <p>Non, ça dépend de /l'allure/ⁱⁱ, /de la vitesse de la voiture qui aurait été devant lui. Pareil c'est le fait que... par rapport à sa vitesse à lui. Parce que ça peut être un camion ou une voiture, je pense que s'il roule lentement, il aurait déboîté, c'est pas le véhicule, c'est la vitesse.^{iv}</p>	<p>CHANGER DE VOIE POUR VOIE DE GAUCHE</p> <p>(I) Action passée : Venir de s'insérer d'une zone d'entrée du trafic</p> <p>(II) Vitesse élevée par rapport aux autres véhicules</p> <p>(III) Distance courte derrière camion</p> <p>(IV) Véhicule vitesse > vitesse camion</p>

Tableau 1 : Codage d'une verbalisation portant sur la prédiction d'action d'un véhicule situé derrière un poids lourd alors que le "véhicule du sujet" les rattrape.

5 RESULTATS

5.1. La prédiction d'action : une combinaison d'indices issus de la situation

Les résultats confirment la première hypothèse. Les sujets prédisent l'action d'autrui sur la base de la combinaison d'éléments prélevés ou inférés à partir des caractéristiques de l'environnement (données circonstancielles) et de connaissances. La prédiction d'action combine des processus ascendant et descendant.

On a distingué dans les données circonstancielles :

- Les indices comportementaux : paramètres qui dépendent directement et exclusivement des actions du conducteur du véhicule, objet de la reconnaissance d'intention (*ori*) (position, trajectoire, indicateur, action passée, vitesse) ;
- Les indices situationnels : paramètres qui ne dépendent pas exclusivement du comportement du conducteur du véhicule *ori* mais également du conducteur d'un véhicule tiers. (infrastructure, densité, interdistance, et position, trajectoire, indicateur, action, vitesse des véhicules tiers).

Pour chaque indice signalé, un sujet attribue un état, une évolution ou les deux à la fois. Les sujets se réfèrent également à des temporalités de la situation différentes. Les indices, qui sont signalés, ne renvoient pas exclusivement à des actions contemporaines de la prédiction d'action. Pour prédire l'action d'un conducteur, le sujet peut se rapporter aux caractéristiques d'une situation passée, à plus ou moins long terme.

Les connaissances (stéréotypes – les taxis ont une conduite agressive - ou règles formelles et informelles – un véhicule léger ne reste pas derrière un poids lourd) sont indépendantes de l'interaction du conducteur automobile (sujet) avec le véhicule *ori*. Elles sont stockées en mémoire à long terme. Seules celles qui ont un niveau d'activation suffisant ou qui font l'objet d'une recherche en mémoire couronnée de succès sont disponibles (Bisseret, 1995). Elles englobent des exemplaires de stéréotypes ou catégories naturelles construites par les sujets durant leur expérience de conducteur, et préexistantes à la situation de conduite elle-même ainsi que ses règles de conduite formelles et informelles.

5.2. Différences de représentation de la situation mais anticipations convergentes

Comme l'indique Amalberti (1996), la conscience de la situation, qui renvoie à l'ajustement de la représentation de la situation réalisée par l'opérateur en fonction de ses objectifs, diffère suivant les opérateurs. Même si les sujets, dans cette étude, ne sont pas engagés dans une activité de conduite et si les indices qu'ils signalent ne peuvent être considérés comme exclusifs de leur représentation de la situation, on observe cette variabilité interindividuelle.

Quel que soit le nombre de sujets confrontés à une même *Si*, ils renvoient dans leur justification de prédiction d'action à une majorité d'indices spécifiques (figure 1). Ces indices, qu'ils soient situationnels ou comportementaux, représentent 85,07 à 66,22 % de l'ensemble des indices utilisés dans les prédictions d'action. Plus généralement, plus le nombre de sujets qui partagent un même indice est important plus sa proportion est faible. Les indices sont signalés par un seul sujet dans la majorité des cas.

L'analyse qualitative des prédictions d'action de chaque sujet montre que cette différence de centration concerne autant les dimensions de la situation que la nature des indices et le nombre d'indices qui leur est nécessaire. Notre seconde hypothèse est confirmée.

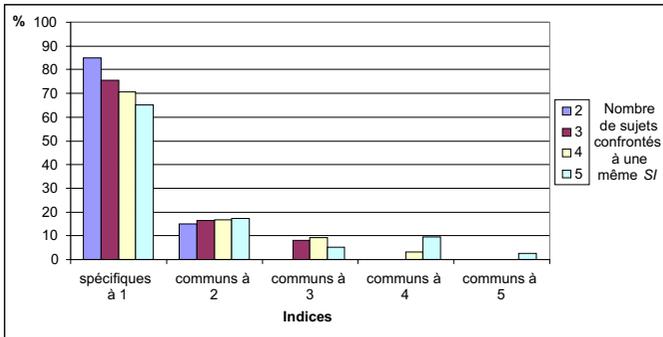


Figure 1 : Comparaison du pourcentage d'indices verbalisés, partagés ou non pour l'ensemble des *Si*

S'il peut résulter de ces "représentations" différentes des prédictions d'action contradictoires (Saad, Mundutéguay & Darses, 1999), près de 75 % des prédictions d'action des sujets sont convergentes. La représentation de la *Si*, qui s'appuie sur des éléments de la situation spécifiques à chaque sujet, n'entraîne donc pas une anticipation différente.

5.3. L'automatisation de la prédiction d'action

En ce qui concerne notre troisième hypothèse concernant le nombre d'indices signalés par chaque sujet pour l'ensemble des *Si* auxquelles il a été confronté, cinq des dix sujets ont leur médiane à deux indices signalés par prédiction d'action (sujets *a, f, h, i, j*) alors que les cinq autres (sujets *b, c, d, e, g*) l'ont à trois indices. En revanche, le mode est à deux indices pour cinq sujets (sujets *a, c, h, i, j*), alors qu'il est à un indice pour le sujet *d*, à trois indices pour le sujet *e* et à quatre indices pour le sujet *b*. Même si on observe une dispersion plus grande sur cette dimension, dans la majorité des *Si*, on peut affirmer que les sujets fondent leurs prédictions d'action sur un nombre d'indices assez faible (Figure 2).

Au regard des résultats, il semble bien que les sujets disposent d'un certain nombre de *Si* en mémoire qu'ils activent à partir d'un faible nombre d'indices. A ces *Si* correspondent des évolutions attendues. En revanche, lorsque la situation est plus atypique, les sujets se trouvent en situation de résolution de problème. Ils peuvent alors signaler jusqu'à huit indices. Ce résultat est confirmé par l'apparition de prédictions d'action incertaines (le sujet ne peut pas se déterminer entre deux actions possibles), qui font suite à l'évocation d'un nombre d'indices supérieur à la moyenne.

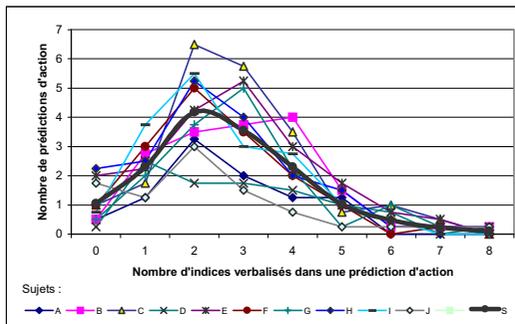


Figure 2: Répartition des *Pa* en fonction du nombre d'indices signalés par chaque sujet pour l'ensemble des *Si*

Le nombre d'indices signalés par chaque sujet peut renvoyer à des formes de diagnostics différents. Ainsi, lorsque les sujets ne parviennent pas à justifier leur prédiction d'action à partir d'un seul indice, on peut penser qu'ils ont effectué un diagnostic automatique ou semi-automatique (Hoc & Amalberti, 1994). Dans ce cas, la détection de quelques signaux orientent immédiatement vers la prédiction d'une action. Si l'action à venir est inférée à partir de deux ou trois indices, le diagnostic pourrait davantage s'apparenter à un diagnostic symbolique. Le contenu des *stimuli* oriente vers la prédiction. Enfin, lorsqu'il est nécessaire pour les sujets de rechercher davantage d'indices ou tout au moins de les conscientiser, il pourrait s'agir d'un diagnostic proche du diagnostic conceptuel.

6 CONCLUSION ET DISCUSSION

Comme nous avons pu le montrer la conduite automobile est un contrôle de processus qui présente des particularités. Le conducteur doit combiner la gestion de son véhicule mais également celle de l'environnement dont la dynamique est déterminée par l'infrastructure, sa progression et la progression des autres conducteurs. L'anticipation de l'évolution de la situation passe donc nécessairement par la prédiction des actions des autres conducteurs. Cette étude a permis d'isoler les indices qui sont prélevés par les conducteurs dans la situation pour réaliser le pronostic de son évolution. Elle a également mis en évidence une variabilité interindividuelle importante dans la représentation de la situation d'interaction, qui n'entraîne toutefois pas de prédictions d'action divergentes. Cette spécificité de la représentation peut correspondre à des styles de prédiction d'action. Nous avons en effet indiqué, que les sujets se distinguent dans leurs références aux différentes dimensions de la situation d'interaction. On peut faire l'hypothèse, que les sujets présentent des sensibilités différentes à ces dimensions. Enfin, la rapidité du processus conduit les sujets à anticiper l'évolution de la situation à partir d'une reconnaissance de situation, qui passe par l'activation de schémas en mémoire. *A contrario*, les situations atypiques entraînent une recherche d'information complémentaires. Elles peuvent également avoir une incidence sur la performance du sujet et entraîner chez lui des stratégies de prédiction d'action prudentes ou risquées comme nous tenterons de le démontrer ultérieurement.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risque*, Paris : Presses Universitaires de France.
- Bisseret, A. (1995). *Représentations et décisions expertes. Psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel*, Toulouse : Octarès.
- Hoc, J.-M. & Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques, *Psychologie française*, 39, 2, 177-192.
- Klein, G.A. (1993). A Recognition-Primed Decision (PRD) model of rapid decision making. In G.A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C.E. Zsombok (Eds.), *Decision Making in action : models and methods*, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.
- Klein, G.A. (1997). The Recognition-Primed Decision (RPD) model : looking back, looking forward. In C.E. Zsombok & G.A. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making*, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Leutzbach, W. (1974). *Collisions par l'arrière*. Communication présentée à la 12^{ème} semaine internationale d'étude technique de la circulation et de la sécurité. Thème VI : Collision en chaîne. Belgrade 2-7 Septembre.
- Lipshitz, R. (1997). Schemata and Mental Models in Recognition-Primed Decision Making. In C.E. Zsombok & G.A. Klein (Eds.), *Naturalistic decision-making*, Mahaw (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.
- Malaterre, G. (1990). Error analysis and in-depth accident studies. *Ergonomics*, 33, 9/10, 1403-1421.
- Mundutéguy, C. (2001). *Reconnaissance d'intention et prédiction d'action pour la gestion des interactions en environnement dynamique*, Thèse de doctorat d'ergonomie, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.

- Renge, K. (2000). Effect of experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communications, *Ergonomics*, 43, 1, 27-39.
- Risser, R. (1985). Behavior in traffic conflict situations, *Accident Analysis and Prevention*, 17, 2, 179-197.
- Rogalski, J. (1994). Formation aux activités collectives, *Le Travail Humain*, 57, 4, 367-386.
- Saad, F., Delhomme, P. & Van Elslande, P. (1990). Driver's speed regulation when negotiating intersections. In M. Koshi (Ed.), *Transportation and Traffic Theory*, Elsevier.
- Saad, F. (1996). Driver Strategies In Car-Following Situations, In A.G. Gale & (Eds.) *Vision in Vehicles*, Amsterdam : Elsevier Science, 70-61.
- Saad, F., Mundutéguy, C. & Darses, F. (1999). *Managing Interactions Between Car Drivers: an Essential Dimension of Reliable Driving*, Proceedings CSAPC'99, Seventh European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control, 20-24 septembre 1999, Villeneuve d'Ascq, France, LEZ, Presses Universitaires de Valenciennes, 28, 99-104.
- Schmidt, K. (1994). *Modes and Mechanisms of Interaction in Cooperative Work. Outline of a Conceptual Framework*, RISO National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- Terssac, G. de, Chabaud, C. (1990). Référentiel opératif commun et fiabilité. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.), *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, Toulouse : Octarès.
- Zachary, W., Robertson, S. P. (1990). Introduction to cognition, computation and cooperation, In S. P. Robertson, W. Zachary, & J. B. Black (Eds.), *Cognition, Computing and Cooperation*, Norwood, New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

Gestion de la prise d'informations pour la planification en situation dynamique : l'anesthésie

Françoise ANCEAUX*

Hervé THUILLIEZ *, Marie-Catherine BEUSCART-ZÉPHIR **

* LAMIH-PERCOTEC, UVHC, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex

[Herve.Thuilliez /Francoise.Anceaux]@univ-valenciennes.fr

** CERIM, Faculté de Médecine, Université Lille 2, Place de Verdun, 59041 Lille Cedex

mcbuscart@univ-lille2.fr

RÉSUMÉ

Les expériences présentées ici s'intéressent aux activités de prise d'information sous tendant l'activité de planification des anesthésistes lors des phases précédant l'anesthésie. Divers travaux ont en effet montré que la tâche de l'anesthésiste (Gaba, 1994) consiste à appliquer un plan tout en surveillant l'évolution du processus et qu'une partie des actions effectuées en cours d'anesthésie sont préparées à l'avance (Xiao, Milgram, & Doyle, 1997b). Dans la première expérience, nous montrons que (i) les anesthésistes en charge de la consultation pré-opératoire mettent en œuvre une alternance de stratégies de prise d'information qui leur permet d'élaborer progressivement une représentation de l'état patient à partir de laquelle ils peuvent catégoriser le patient et, (ii) que les informations transmises sont celles qui serviront à l'anesthésiste de bloc pour sélectionner le plan adéquat et anticiper les éventuels problèmes. Dans la seconde expérience, nous montrons que les informations sélectionnées de manière préférentielle par les anesthésistes sont celles qui servent à sélectionner le plan adéquat.

MOTS-CLÉS

Gestion de la prise d'information ; planification ; anesthésie ; gestion des risques ; transmission d'informations

1 INTRODUCTION

L'anesthésie est une situation qui, depuis quelques années sert de support à l'étude de deux concepts centraux des activités de supervision des situations dynamiques, l'erreur (de Keyser & Nyssen, 1993; de Keyser & Woods, 1990; Gaba, 1989; Gaba, 1994; Nyssen & Javaux, 1996; Xiao, Mackenzie, & The Lotas Group, 1995) et la planification (Gaba, 1994; Xiao, Milgram, & Doyle, 1992a; 1992b; 1997a; 1997b). L'anesthésie est une situation dynamique à haut risque, instable, soumise à des contraintes temporelles fortes dans laquelle on a montré (Gaba, 1994) que l'anesthésiste doit réaliser deux tâches en parallèle : suivre un plan (pour induire, maintenir et terminer l'anesthésie) et détecter et corriger, en même temps, d'éventuelles perturbations. D'autres auteurs (Xiao *et al.*, 1997b) ont montré que de nombreuses réponses contingentes des anesthésistes sont préparées à l'avance. Ils ont ainsi mis en évidence l'importance de la planification préalable en faisant, à ce propos, le parallèle avec la phase de préparation de mission effectuée dans le pilotage d'avions de combat (Amalberti & Deblon, 1992).

Toutefois, ces auteurs se sont surtout focalisés sur les éléments constitutifs des plans mais se sont peu intéressés à la manière dont ils sont élaborés ou choisis parmi un ensemble de plans possibles. Pour notre part, nous avons choisi de nous intéresser à la prise d'informations effectuée par les anesthésistes préalablement à l'intervention, partant du postulat qu'elle aboutit à la construction d'une représentation du cas du patient permettant la sélection d'un plan. Cette étude nous apparaissait d'autant plus intéressante qu'en France, le processus de prise en charge anesthésique se décompose en plusieurs phases dont la première, la consultation pré-opératoire, est principalement dévolue à cette recherche des informations pertinentes. De surcroît, dans les « gros » hôpitaux français, des anesthésistes différents peuvent être en charge des trois parties pré, per et post opératoires ce qui implique deux conséquences du point de vue de la supervision du processus d'anesthésie : (i) l'anesthésiste qui effectue la consultation préopératoire ne planifie pas nécessairement son activité future dès la consultation, car son intervention ultérieure est potentielle. Il ne construit donc pas de représentation occurrente pour planifier son action mais essentiellement pour comprendre le cas

patient qu'il rencontre, en évaluer les risques et transmettre ces informations ; (ii) il s'agit bien là d'une activité collective que l'on peut apparenter à une relève de poste. Ce n'est pas le plan dans son ensemble qui est transmis, mais la représentation occurrente qui permet cette planification. Avant de nous s'intéresser plus précisément à la coopération, il nous semblait essentiel d'analyser les différentes phases de prise d'informations précédant l'anesthésie.

Après avoir décrit brièvement l'anesthésie en tant qu'activité de supervision de situation dynamique, nous présenterons quelques données théoriques et empiriques qui mettent l'accent sur le rôle de la planification dans cette activité en insistant sur le rôle des activités de prise d'information dans l'élaboration ou la sélection du plan. Nous présenterons ensuite deux expériences effectuées, pour l'une, lors de la consultation préopératoire et, pour l'autre, au début de la phase opératoire. Leur objectif est d'étudier les activités de gestion de prise d'information des anesthésistes et, plus particulièrement, de vérifier l'hypothèse selon laquelle les informations relevées pendant ces deux phases de prise d'information sont celles qui leur servent à sélectionner le plan le plus adéquat.

2 CADRE THÉORIQUE

L'anesthésie est une activité de supervision de situation dynamique dans laquelle l'anesthésiste a pour tâche de superviser l'évolution du processus physiologique humain qui est un matériel vulnérable, complexe et dynamique, surtout dans les conditions particulières générées par l'anesthésie et la chirurgie (Xiao, 1994). Ce processus est à haut risque, instable et variable. Il comprend plusieurs dynamiques sous de fortes contraintes temporelles : la dynamique du processus patient avec ses réactions aux produits et actes anesthésiques et chirurgicaux, la dynamique du processus anesthésique et celle du processus chirurgical.

L'objectif de l'anesthésie est d'assurer la survie du patient à l'opération chirurgicale (de Keyser *et al.*, 1993), d'une part, en le maintenant en vie dans un état d'inconscience et en prévenant les accidents et, d'autre part, en procurant les conditions nécessaires à l'intervention chirurgicale (Xiao *et al.*, 1997a,b). L'anesthésie générale se décompose en trois phases :

(a) La phase d'évaluation préopératoire comprenant la consultation préopératoire une à deux semaines avant l'opération et la visite pré-anesthésique de contrôle, la veille de l'intervention. C'est lors de cette phase que prend place la première étape de planification préalable, celle qui vise, d'une part, à évaluer les risques et à prendre la décision d'effectuer ou pas l'intervention et d'autre part, à relever et à transmettre les informations permettant la planification.

(b) La phase peropératoire comprenant une sous étape d'induction de l'état de d'inconscience et une sous étape de maintenance de l'anesthésie. Cette phase est celle pendant laquelle le plan est mis en œuvre et éventuellement adapté aux circonstances, l'anesthésie étant un acte d'équilibre continuuellement ajusté entre le niveau de douleur provoqué par les actes chirurgicaux et la profondeur de l'anesthésie.

(c) La phase postopératoire comprenant la procédure de réveil et de fin de l'anesthésie.

Le lien entre ces différentes étapes est assuré par le dossier d'anesthésie, dont la fiche d'anesthésie est le premier élément, document légal mais servant également de mémoire et de support à la transmission des informations médicales nécessaires lors des phases per et post-opératoires.

2.1. Le besoin de planification dans les environnements dynamiques

Dans ces environnements, les opérateurs expérimentés sont peu souvent confrontés à des situations entièrement nouvelles et leur expérience leur procure un ensemble de procédures préétablies. De ce fait, ils ont rarement besoin d'élaborer un nouveau plan. Néanmoins, on peut considérer, avec Xiao *et al.* (1997b), que même les opérateurs humains expérimentés ont besoin de planifier, et ce, pour trois raisons essentielles. D'abord les risques d'erreurs sont nombreux et leur prévention est essentielle, les plans sont ajustés par anticipation ou en cours d'action pour répondre de façon adaptée à la situation. Ensuite, les nombreuses sources d'information nécessitent la mobilisation de plusieurs modalités sensorielles, et les plans permettent d'induire des attentes, une sélection de l'attention vers les sources d'information les plus pertinentes. Enfin, lors d'incidents, une réponse adaptée doit être rapidement apportée et, dans ce cas, la planification préalable de solutions alternatives est essentielle. La planification préalable est surtout essentielle dans les situations dans lesquelles la replanification en cours d'action est difficile à effectuer dans la mesure où la surcharge d'activité qu'elle suppose risquerait d'interférer avec la gestion à court terme de la situation, à savoir la surveillance du processus et l'exécution des actions qui ne peuvent être mises en attente. Dans le

pilotage d'avion de combat, par exemple, on considère qu'elle est une étape importante pour guider l'activité (Amalberti *et al.*, 1992) et qu'elle permet de réduire l'espace problème et d'appliquer des solutions qu'on ne peut construire pendant l'activité (Valot & Deblon, 1990).

2.2. La planification dans l'anesthésie

Les premiers modèles sur la planification l'ont considérée comme un processus de raffinements successifs dans lequel le plan est d'abord élaboré dans un espace abstrait de planification puis détaillé dans un espace d'exécution (Newell & Simon, 1972; Sacerdoti, 1977). Cette vision strictement *top-down* a ensuite été révisée par Hayes-Roth et Hayes-Roth (1979) qui introduisent la notion de planification opportuniste (multi-directionnelle et incrémentale) et l'envisagent comme une sorte de «préparation mentale» : elle est alors définie comme une conception anticipée d'une procédure d'action sans rétroaction du résultat de l'action sur l'environnement. Les conceptions actuelles de la planification (Hoc, sous presse), reposant sur cette notion de planification opportuniste, insistent sur le fait que les plans ne sont pas des fins en soi, mais sont des guides pour l'activité qui ne sont pas exécutés tels quels. La planification repose sur l'utilisation de plans existants stockés en mémoire et/ou de plans nouvellement élaborés.

L'anticipation est une des propriétés essentielles de la planification. Denecker (1999) la considère comme une représentation explicite du futur (la prévision) et/ou comme une activation préparatoire (l'attente). Dans les situations de surveillance de processus, elle interviendrait à deux niveaux. La préparation à certaines situations permettrait la sélection de l'information pertinente par une focalisation attentionnelle et la prévision des résultats servirait à préparer les actions et à les ajuster si nécessaire. C'est cette composante anticipatrice que l'on retrouve nettement dans les définitions de Xiao *et al.* (1997b) qui décrivent la planification préalable comme un processus de préparation des ressources pour l'action et de Gaba (1994) pour qui elle permet une résolution de problèmes dirigée par l'anticipation du besoin de préparation et de coordination des actions.

La schématisation est une autre propriété de la planification. C'est à l'origine l'idée de Simon (1969) pour lequel il est indispensable, pour résoudre des problèmes complexes, de décomposer la situation ou le système en des représentations de différents niveaux de détails permettant ainsi une hiérarchisation en sous schémas ou plans, ce qui réduit la complexité de l'environnement. Pour Hoc (1987), le plan est une représentation schématique et/ou hiérarchisée guidant l'activité qui n'est détaillée que lors de l'exécution de l'action.

Selon Gaba, Howard, & Small (1995), dans l'anesthésie, le plan comprend la représentation de l'état du patient, de l'objectif de l'intervention et des ressources (mentales, physiques et techniques) nécessaires et disponibles. D'une part, un plan est construit lors de la consultation préopératoire afin d'identifier les besoins techniques de la chirurgie envisagée, d'évaluer l'existence et la sévérité des problèmes médicaux sous-jacents, et enfin d'assortir les besoins aux ressources disponibles (Gaba, 1994). D'autre part, lors de la supervision du processus de l'anesthésie en cours d'action, les anesthésistes experts prennent en compte de nombreux paramètres dans la planification, comme par exemple les préconditions nécessaires pour réaliser les actions (par exemple, l'impossibilité de mesurer le flux sanguin généré par le cœur si un cathéter adapté n'est pas présent dans le cœur), les contraintes sur les actions proposées (l'impossibilité de vérifier la taille des pupilles du patient si sa tête se trouve sous le drap chirurgical), les effets secondaires de ces actions, leur rapidité et leur facilité d'implémentation, leur réversibilité ainsi que leur coûts en termes d'erreurs, d'attention et de ressources.

Pour Xiao (Xiao *et al.*, 1992a, 1992b ; Xiao *et al.*, 1997a, 1997b), la planification préalable apparaît fragmentaire, c'est-à-dire que seuls quelques aspects du cas sont examinés et anticipés habituellement par les anesthésistes. Ces auteurs se sont intéressés à la mise en évidence des informations qui sont passées en revue dans les rapports pré-opératoires et qu'ils appellent les « points pris en considération ». Il s'agit de problèmes généraux liés à l'état du patient, des difficultés attendues dans l'exécution des procédures, des tâches spécifiques au cas, etc., qui tous, renvoient à des problèmes potentiels qui peuvent être évités, allégés ou résolus de manière particulière. Ils notent à ce propos une concentration sur l'identification des problèmes plutôt que sur les solutions. La planification en cours d'action repose sur une combinaison des activités mentales et physiques, une part importante de l'attention étant allouée aux écarts par rapport aux plans usuels.

De même que Gaba (1994), ces auteurs s'intéressent surtout à l'exécution du plan et aux stratégies de planification mise en œuvre au début et pendant l'anesthésie elle-même. Pour notre part, nous nous

intéressons aux stratégies de prise d'information sous tendant l'élaboration de la représentation du cas. En effet, selon Hoc (1987), le choix du plan s'effectue sur la base d'une représentation de la situation dont la construction est guidée par l'utilisation qui va en être faite. Nous pensons, comme Gaba (1994) que, dans l'anesthésie, le plan est sélectionné ou construit à partir de l'évaluation préopératoire du patient (Anceaux & Beuscart-Zéphir, sous presse ; Anceaux, Beuscart-Zéphir, & Sockeel, 1999). Or, comme nous l'avons signalé, il existe, en France, une consultation pré-opératoire, qui se déroule en moyenne une semaine avant l'intervention. Cette étape n'est pas toujours réalisée par l'anesthésiste en charge de l'opération et les informations recueillies lors de cette phase sont transmises par le biais de la fiche d'anesthésie contenue dans le dossier d'anesthésie. La planification préalable s'effectue dès lors en deux étapes :

- lors de la consultation pré-opératoire, l'anesthésiste recueille les informations auprès du patient avec deux objectifs principaux. D'une part, il se construit progressivement une représentation du cas qui lui permettra (i) de guider la prise d'informations, (ii) de décider de la faisabilité de l'intervention et (ii) de choisir/construire un plan intégrant les caractéristiques du patient, les facteurs de risques et les contraintes, et également le « protocole d'anesthésie » à utiliser ultérieurement ainsi que les contraintes qu'il impose et les ressources qu'il nécessite. D'autre part, et sur la base de cette représentation, il décide des informations à transmettre. Si l'on se réfère aux résultats de Gaba (1994) et de Xiao (Xiao *et al.*, 1997b), on peut s'attendre à ce que le plan élaboré dans cette phase soit général, sa spécification n'étant nécessaire qu'en cours d'exécution. Toutefois, les informations nécessaires à la particularisation du plan doivent être présentes sur la fiche puisque ce sont elles qui serviront, lors de la phase per-opératoire, à particulariser le plan.
- au début de la phase per-opératoire, l'anesthésiste de bloc consulte les informations recueillies et transmises par l'anesthésiste de consultation. Cette prise d'information lui permet de choisir/élaborer un plan contenant les mêmes éléments que précédemment. Les informations sélectionnées lors de cette phase doivent être, de manière prioritaire, celles qui servent à la sélection du plan.

3 EXPÉRIENCE 1 : la gestion de la prise d'informations lors de la consultation pré-opératoire

L'objectif de cette première expérience était (i) d'étudier la manière dont la prise d'informations et leur transmission sont gérées par les anesthésistes en charge de la consultation ainsi que (ii) de mettre en évidence les différents éléments d'information pris en considération.

3.1. La situation d'étude

Comme nous l'avons précisé précédemment, la consultation pré-opératoire est principalement dévolue à la planification des phases ultérieures. Pour toutes les interventions chirurgicales prévues, la consultation préopératoire se déroule en moyenne une ou deux semaines avant l'intervention elle-même. Selon les anesthésistes, elle consiste en : (i) l'instauration d'un climat de confiance et (ii) l'exploration systématique du champ médical du patient, appareil par appareil, pour identifier les pathologies sources de risque, catégoriser le patient en fonction des risques (« sans », « à surveiller », « haut risque »), anticiper les problèmes potentiels, noter les informations pertinentes et les transmettre à l'anesthésiste de bloc.

Cette activité est réalisée par le biais d'un entretien et d'un examen clinique, assortis d'une prise de notes sur une fiche, dite fiche d'anesthésie, qui est intégrée au dossier d'anesthésie, et qui sera réutilisée en salle d'opération, puis en salle de réveil. En France, la fiche d'anesthésie a un double rôle. Elle est d'abord, comme le dossier d'anesthésie dont elle est le premier élément, un document légal. Par ailleurs, dans la mesure où l'anesthésiste en charge de la consultation n'est pas toujours celui qui assurera l'anesthésie elle-même, elle sert de support à la transmission des informations médicales pertinentes aux anesthésistes en charge de l'induction et de la maintenance. Les fiches comportent à la fois des informations administratives et médicales. Elles peuvent être structurées de manière différente selon les services, mais elles sont pratiquement toujours découpées en champs (entre 8 et 12), eux-mêmes découpés en sous champs et items. Sur ces fiches, la saisie est manuscrite, le codage des informations notées est libre ainsi que le remplissage de certains champs (antécédents...). Elles servent également pour noter les informations nouvelles éventuellement recueillies lors de la visite au lit du patient qui a lieu la veille de l'intervention et dont l'objectif est de vérifier que l'état du patient n'a pas évolué de manière significative depuis la consultation.

3.2. Méthode

Dans un premier temps, treize anesthésistes effectuaient chacun deux consultations, une avec un cas facile (mise en relation aisée des informations permettant l'instanciation d'un plan usuel, routinier, peu détaillé, intervention ne nécessitant pas de procédures spécifiques lors de l'induction et de la maintenance), une avec un cas difficile (mise en relation plus compliquée des informations aboutissant à la sélection d'un plan qui doit être adapté, d'un niveau de détail plus élevé et nécessitant des procédures spécifiques lors de l'induction et de la maintenance). Pour des raisons matérielles, nous n'avons pas pu utiliser deux groupes équivalents de sujets différenciés sur leur expérience : il y avait onze anesthésistes expérimentés et seulement deux débutants (internes). Les consultations étaient réalisées avec des patients volontaires pour participer à l'étude.

Ont été recueillies la durée de la consultation, les champs interrogés et renseignés, les informations recueillies et notées, les types de notation utilisés. A partir de l'ordre de passage en revue des champs et de l'ordre de notation des informations, nous avons construit des graphes de dialogues permettant la représentation des échanges entre patient et anesthésiste et les notations qui en découlent (pour une présentation détaillée, cf. Anceaux *et al.*, sous presse ; Anceaux *et al.*, 1999).

Toutes les consultations ont été enregistrées (audio et vidéo) et des entretiens ont été effectués à la fin de chacune d'entre elles. Ces entretiens ont été utilisés afin d'aider à l'interprétation des données décrites précédemment.

Nous avons en particulier demandé aux anesthésistes de nous expliquer le rôle de chacun des champs de la fiche dans la future activité d'induction et de maintenance de l'anesthésie, ce qui nous a permis de catégoriser les différents champs et items de la fiche selon la valeur fonctionnelle de ces informations dans le processus de prise en charge anesthésique. Nous avons ainsi pu classer les champs en 3 catégories selon que les informations qu'ils contiennent servent à la programmation de l'intervention (les préconditions, par exemple la présence de l'accord parental pour les enfants) ou à la planification des actions (Gaba, 1994). Cette dernière catégorie a été divisée en deux selon que les champs et items renvoient à l'élaboration ou au choix du plan (une allergie au latex par exemple) ou à l'ajustement (particularisation et/ou modification) de ce plan (par exemple, le poids d'un enfant qui détermine la quantité de produit injectée).

Nous leur demandions également les raisons des éventuels « sauts » d'un champ à l'autre lors du dialogue et de la notation résultante. Ces informations ont été utilisées pour interpréter les graphes de dialogue précédemment présentés. Pour chacun des cas, un avis sur sa faisabilité était demandé et ce, sur quatre critères (la quantité de travail que représente le cas en consultation, la quantité de travail qu'il engendre au bloc opératoire, le niveau de technicité à mettre en œuvre et enfin le stress qu'il implique). Cette évaluation nous a permis de vérifier le niveau de difficulté des cas présentés.

Parallèlement à cette analyse de l'activité de collecte d'informations des anesthésistes, nous avons analysé le contenu de 100 fiches d'anesthésie remplies (71 cas faciles et 29 difficiles) par des anesthésistes experts. Nous avons en particulier analysé la quantité d'informations notées et la manière dont elles étaient notées (sous forme brute – par exemple une valeur de paramètre- ou interprétée – par exemple une alarme, un élément de planification).

Par ailleurs, et pour répondre à notre second objectif, nous nous sommes intéressés aux différents types d'informations retenues (notées) par les anesthésistes en fonction du rôle qu'elles jouent dans la prise de décision et dans la planification de l'anesthésie. Nous avons pour cela utilisé la catégorisation des champs présentée ci-dessus.

3.3. Résultats

Étude de la gestion de la prise d'informations

L'analyse des données recueillies auprès des 13 anesthésistes nous a permis d'effectuer les constatations suivantes.

La consultation dure de 5 à 7 minutes en moyenne pour les cas faciles et de 15 à 20 minutes pour difficiles. De manière générale, on observe que l'interrogatoire est rarement effectué champ par champ. En effet, même si on trouve un sous-ensemble de questions identique pour tous les cas et tous les anesthésistes, les différents champs ne sont pas habituellement abordés dans un ordre systématique et les uns après les autres. Seuls les deux débutants (internes) ont tendance à passer en revue l'ensemble des champs de manière ordonnée et systématique. L'ordre des questions semble

influencé par deux facteurs indépendants, la difficulté du cas et la procédure d'exploration du champ médical du patient utilisée par l'anesthésiste qui, elle, semble être liée à l'expérience. Nous avons pu mettre en évidence trois types d'exploration qui peuvent coexister au sein d'une même consultation.

Procédure 1 : l'anesthésiste suit un ordre systématique et standard, champ par champ et appareil par appareil.

Procédure 2 : à partir d'une réponse donnée par le patient, l'anesthésiste infère des informations pertinentes et pose un ensemble de questions pour confirmer son hypothèse. Cette procédure conduit à des courts-circuits significatifs dans l'exploration du champ médical du patient et se caractérise par des changements de champ.

Procédure 3 : à certains moments, l'anesthésiste laisse parler le patient, lui fait « raconter son histoire » aussi longtemps que ce qu'il dit est pertinent au propos de la consultation. Cette procédure conduit également souvent à des changements de champ.

Ces stratégies peuvent coexister dans un même entretien et il apparaît une dominance de la procédure 1 dans les cas simples (et généralement chez les débutants), alors que les cas plus difficiles se caractérisent par une alternance des 3 stratégies avec des sauts successifs d'un champ à l'autre.

Étude de la gestion de la prise d'informations

Cette étude a été effectuée à partir des données recueillies auprès des 13 anesthésistes et de l'analyse des 100 fiches remplies.

Les notations des 13 anesthésistes présentent d'importantes différences interindividuelles quant à l'emplacement de saisie de certaines données relatives surtout aux antécédents et aux données cliniques. Certaines données essentielles pour les anesthésistes ne rentrent dans aucun champ (les addictions par exemple) et sont donc inscrites un peu n'importe où.

L'ordre de notation des données sélectionnées est variable d'un cas à l'autre. Il dépend en grande partie de l'ordre d'apparition des informations lors de l'interrogatoire ce qui amène les anesthésistes à très souvent passer d'un champ à un autre.

Il semble également apparaître un effet de l'expertise que nous ne pouvons vérifier étant donné le petit nombre de sujets novices. Globalement, les novices remplissent la totalité des champs proposés sur la fiche, notant « RAS » pour tout ce qui ne pose pas problème, renseignant les champs avec des données brutes et ne semblent pas faire de différences entre les informations notées en fonction de leur importance dans le processus anesthésique. Les données rentrées par les experts, moins nombreuses, apparaissent comme plus informatives : ils notent plus d'informations interprétées, non signalées par le patient et qui sont le résultat d'inférence (par exemple, le patient déclare prendre un certain médicament et l'anesthésiste note la pathologie sous jacente ; l'anesthésiste met en évidence par un surlignage un indicateur de risque) et ne remplissent que les champs pour lesquels il y a quelque chose à signaler, partant du principe que " *s'il n'y a rien d'inscrit dans un champ, c'est qu'il n'y a rien d'important à ce propos* ".

Les résultats de l'analyse des 100 fiches d'anesthésie sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: nombre moyen d'informations notées sur les fiches d'anesthésie selon la difficulté des cas (les écarts types figurent entre parenthèses)

	Cas faciles (N=71)	Cas difficiles (N= 29)	Effets
Nombre d'items	44,55 (11,50)	53,55 (10,37)	$t(99)=4,77 ; p<.0001$
dont Taux d'informations interprétées	19,02 % (8,40)	15,50 % (8,04)	NS
dont Taux d'alarmes	9,85% (12,83)	24,42% (23,72)	$t(99)=3,97 ; p<.0001$
Taux de RAS	84,73% (20,35)	70,13% (27,43)	$t(99)= 2,94 ; p<.004$
Taux de planification explicite	2,63% (6,66)	1,99% (5,65)	NS

Le nombre d'informations notées est significativement plus élevé quand les cas sont difficiles. Comme nous avons précédemment observé des notations spécifiques chez les 11 anesthésistes experts, nous avons mis en évidence la présence des informations « interprétées » dans les fiches. Nous avons relevé les signaux d'alarmes (surlignage, encadrement, etc.), les symboles indiquant que la valeur du paramètre est normale (RAS, Ø, etc.) ainsi que les éléments de planification explicites (prévoir..., faire attention à..., etc.). Ces informations interprétées représentent entre 15 et 20% des items notés et ce, que le cas soit simple ou pas. Le taux global d'éléments de planification explicite est très peu élevé (moins de 1% du nombre total d'items) et ne représente que moins de 3% des

informations interprétées. Ce sont les indicateurs « que tout va bien » qui représentent la majorité des informations interprétées et ce, significativement plus souvent quand le cas est simple ($d= 14\%$; $t(99)=2,94$; $p<.004$). Le taux d’alarmes est, comme on pouvait s’y attendre, nettement moins élevé pour les cas simples.

Étude des informations selon leur utilité dans le processus de prise en charge ultérieur

Comme nous l’avons signalé dans la partie précédente, les entretiens d’auto-confrontation ont, entre autres, servi à catégoriser les différents champs et items de la fiche en 3 catégories de programmation de l’acte, d’élaboration/choix de plan et d’ajustement de plan selon la valeur fonctionnelle de ces informations dans le processus de prise en charge anesthésique.

Tableau 2: Taux d’informations pour les différentes catégories fonctionnelles selon la difficulté des cas (les écarts types figurent entre parenthèses)

Taux d’informations :	Cas faciles (N=71)	Cas difficiles (N= 29)	Effets
élaboration de plan	9,86% (4,82)	7,21% (3,26)	$t(99)=2,74$; $p<.01$
dont Taux d’informations interprétées	45,94% (28,72)	32,98% (23,19)	$t(99)=2,18$; $p<.05$
ajustement de plan	72,34 % (15,45)	78,38% (17,32)	NS
dont Taux d’informations interprétées	37,97% (12,82)	28,32% (10,75)	$t(99)=2,22$; $p<.05$
programmation de l’acte	17,80% (5,82)	14,41% (4,15)	$t(99)=4,48$; $p<.0002$
dont Taux d’informations interprétées	2,60% (6,78)	0,37% (2,02)	NS

On observe dans le tableau 2 que les informations relatives à l’ajustement des plans sont les plus nombreuses et ce, que les cas soient simples (75%) ou difficiles (79%). Les informations relatives à la programmation de l’intervention sont plus nombreuses quand le cas est simple (20%) que difficile (15%), ce qui semble normal étant donné que dans les cas difficiles, des ajustements techniques et matériels doivent être envisagés lors de l’anesthésie elle-même. Pour ces deux catégories, les informations interprétées sont significativement plus nombreuses quand le cas est simple.

Il est intéressant de noter que les informations relatives à l’élaboration ou au choix du plan sont relativement peu nombreuses et ce, même si elles le sont plus dans les cas simples que dans les cas difficiles. On trouve un très faible taux d’informations interprétées et ce, quel que soit le type de cas.

3.4. Discussion

Nous avons pu mettre en évidence le fait que, lors des consultations préopératoires, les anesthésistes mettent en œuvre trois stratégies de gestion de la prise d’information différentes utilisées en alternance, alternance qui réalise plusieurs fonctions. La fonction essentielle est liée à l’élaboration de la représentation du cas, élaboration effectuée par le biais d’une prise d’informations de type « opportuniste » (en référence à Hayes-Roth *et al.*, 1979) mêlant des stratégies ascendantes et descendantes (Hoc, 1987). Cette élaboration semble soutenue par la fiche papier qui, contenant les informations retenues, devient une sorte de transcription externe de la représentation en cours d’élaboration du cas. Une autre fonction de cette alternance est de remplir un des objectifs de la consultation, à savoir « instaurer un climat de confiance » ou « préparer le patient à l’intervention ».

Ces observations ont par ailleurs permis de montrer que les informations retenues par les anesthésistes lors de la consultation ont des statuts fonctionnels différents pour l’intervention ultérieure. Une partie des informations relève en effet des préconditions nécessaires à la mise en place de l’intervention et à sa programmation. Une autre partie sert à catégoriser le cas, à décider de sa faisabilité et à sélectionner un plan. Mais la majorité des informations notées sont celles qui sont nécessaires à l’ajustement du plan sélectionné à la situation particulière. C’est parmi l’ensemble des informations relatives à la planification que l’on trouve le plus d’éléments interprétés et, en particulier, les indicateurs de risque et les indicateurs de normalité du cas.

4 EXPÉRIENCE 2 : LA GESTION DE LA PRISE D’INFORMATIONS AU DÉBUT DE LA PHASE PER-OPÉATOIRE

L’objectif de cette deuxième expérience était d’étudier l’activité de prise d’information des anesthésistes au début de la phase peropératoire et, en particulier, de déterminer quelles informations

étaient prises, dans quel ordre et ce, en fonction de leur rôle dans la planification de l'intervention. Notre hypothèse est ici que les informations qui seront prises en premier et le plus souvent sont les informations permettant à l'anesthésiste de sélectionner un plan.

4.1. La situation d'étude

La phase per-opératoire débute par une prise de connaissance des éléments d'informations relatifs au patient contenus dans la fiche présentée précédemment, éléments qui déterminent le choix ou l'élaboration du plan. Nous nous sommes centrés sur cette courte période qui se termine lorsque l'anesthésiste commence l'induction.

Pour pouvoir homogénéiser les conditions de passation et contrôler les facteurs expérimentaux, nous avons choisi de simuler cette phase en présentant sur ordinateur des fiches d'anesthésie remplies lors de consultations préalables. Le logiciel construit pour l'expérimentation permet que les champs d'informations de la fiche d'anesthésie soient cachés ou affichés. Seuls les titres des champs sont toujours apparents et l'appui et le maintien du bouton droit de la souris sur un champ laisse apparaître son contenu.

4.2. Méthode

Les sujets sont 4 anesthésistes experts qui travaillent dans le même service depuis au moins 5 ans.

Chaque sujet est confronté à 8 fiches présentées dans un ordre aléatoire pour neutraliser les éventuels effets d'ordre, chacune proposant un cas réel. Les 8 fiches (cas) sont construites à partir de la combinaison de deux facteurs expérimentaux : la difficulté du cas {facile, difficile}, telle que définie dans l'expérience précédente et la quantité d'information {peu, beaucoup}, définie par le nombre d'unités sémantiques présentes sur l'ensemble de la fiche d'anesthésie ; chaque combinaison étant représentée par deux fiches.

Nous utilisons par ailleurs dans cette expérience la catégorie du champ comme facteur expérimental. Pour ce faire, nous avons affiné la catégorisation précédente en scindant, d'une part la catégorie ajustement de plan en deux catégories, une de « modification de plan » (information déterminant un ajustement du plan à des conditions particulières : le traitement actuel du patient par exemple qui nécessite des précautions inhabituelles) et une de « particularisation de plan » (information déterminant la valeur d'une variable : âge/poids/taille, par exemple). D'autre part, la catégorie préconditions a été divisée en une catégorie de « préconditions globales » (nécessaires pour la mise en œuvre de l'intervention : l'identité du patient par exemple) et les « préconditions locales » d'actions (nécessaires pour une action précise : le groupe sanguin par exemple). La catégorie « choix/élaboration de plan » n'a pas été modifiée.

Après une familiarisation avec le logiciel, les sujets devaient dans un premier temps consulter les informations contenues sur la première fiche « comme s'ils débutaient l'anesthésie du patient, dans l'ordre qu'ils souhaitaient et sans restriction de temps ». Un rappel des informations qu'ils estimaient essentielles, effectué sur une fiche papier vierge, avait ensuite lieu. Le même enchaînement était utilisé pour chacun des 8 cas.

Le logiciel permettait d'enregistrer automatiquement le nombre et l'ordre de consultation des champs, le temps de consultation par champ et le temps total. Nous avons également recueilli, pendant le rappel, le nombre de champs remplis ainsi que l'ordre de leur rappel.

4.2. Résultats

Étant donné qu'aucune différence n'a pas été mise en évidence en fonction de la difficulté du cas et de la quantité d'informations contenues sur la fiche, les données présentées ci-après représentent des moyennes sur l'ensemble des fiches.

De manière globale, on constate que les anesthésistes consultent en moyenne près de 64% des champs d'informations de la fiche, le nombre total de champs étant de 26. Les retours sur des champs déjà consultés sont très rares (de l'ordre de 1,12 en moyenne). La consultation d'une fiche dure en moyenne un peu moins d'une minute, le temps moyen passé par champ étant de l'ordre de 2 secondes. Lors du rappel, ils renseignent 50 % des champs de la fiche d'anesthésie.

La consultation des fiches selon la catégorie des champs

On observe dans le tableau 3 que les champs les moins consultés sont ceux de préconditions globales (toutes les comparaisons avec les autres catégories sont significatives : $t_{(4,15)}$ allant de 3,11 à 5,24).

Les autres catégories ne se distinguent pas (toutes comparaisons NS) et ce, même si les champs de choix de plan sont regardés un peu plus souvent que les autres (80% de ces champs sont consultés). Pour ce qui concerne la durée de consultation moyenne par champs, on observe 3 ensembles qui se distinguent : les champs de choix de plan et de préconditions globales sont ceux qui sont consultés le plus rapidement, les champs de préconditions globales se distinguant de l'ensemble des 3 autres catégories ($t_{(4,15)}$ de 2,53 à 2,95), ceux de choix de plan se distinguant des champs de particularisation ($t_{(4,15)} = 2,54$; $p < .04$) et de préconditions locales ($t_{(4,15)} = 2,67$; $p < .04$). Les champs de particularisation de plan et de préconditions locales sont ceux qui sont consultés le plus longuement. Les champs de modification de plan sont en quelque sorte intermédiaires et ce même s'ils ne se distinguent que des champs de préconditions globales ($t_{(4,15)} = 2,53$; $p < .04$).

Tableau 3 : Caractéristiques de la consultation des champs selon leur catégorie
(les écarts types figurent entre parenthèses)

	Choix Plan	Modifica- tion plan	Particulari- sation plan	Précondi- tions globales	Précondi- tions locales
Proportions moyennes de champs consultés (par rapport au nombre de champs dans la catégorie)	0,80 (0,18)	0,66 (0,15)	0,73 (0,18)	0,29 (0,08)	0,70 (0,26)
Temps moyens de consultation (secondes)	1,15 (0,32)	1,95 (0,65)	3,21 (1,62)	1,06 (0,25)	2,37 (0,88)
Rang moyen de consultation	5,06 (0,62)	10,02 (3,67)	9,83 (1,27)	8,67 (1,68)	14,75 (2,92)

Les catégories de champs se distinguent également quant à l'ordre dans lequel ils sont consultés. Les champs de choix de plan sont ceux qui ont le rang moyen le plus faible (toutes comparaisons significatives avec les autres catégories : $t_{(4,15)}$ de 2,67 à 6,75). Les champs de préconditions locales étant quant à eux regardés en dernier (toutes comparaisons significatives avec les autres catégories : $t_{(4,15)}$ de 3,09 à 6,50). Les trois autres catégories ne se distinguent pas les unes des autres.

Le rappel des fiches selon la catégorie des champs

Les résultats présentés dans le tableau 4 montrent que les champs les plus rappelés par les anesthésistes sont ceux appartenant à la catégorie de choix du plan (toutes comparaisons significatives avec les autres catégories : $t_{(4,15)}$ de 3,69 à 12,24), les moins rappelés étant ceux de préconditions globales toutes comparaisons significatives avec les autres catégories : $t_{(4,15)}$ de 8,72 à 12,24). Ici encore, les 3 autres catégories de champs ne se distinguent pas les unes des autres.

Tableau 4: Caractéristiques du rappel des champs selon leur catégorie
(les écarts types figurent entre parenthèses)

	Choix Plan	Modifica- tion de plan	Particularisa- tion de plan	Précondi- tions globales	Précondi- tions locales
Proportions moyennes de champs rappelés (par rapport au nombre de champs dans la catégorie)	0,79 (0,10)	0,54 (0,09)	0,52 (0,08)	0,13 (0,04)	0,52 (0,08)
Rang moyen de rappel	5,10 (1,02)	6,35 (1,45)	6,78 (0,78)	6,11 (0,57)	10,02 (4,13)

Pour ce qui concerne l'ordre de rappel, on observe un patron assez proche de l'ordre de consultation, avec les catégories de choix de plan qui apparaissent les plus rappelés et celles de préconditions locales les moins rappelés ($t_{(4,15)}$ de 2,67; $p < .04$). Aucune autre comparaison n'est ici significative.

4.4. Discussion

Nous avons signalé précédemment qu'aucun effet de la difficulté des cas et de la quantité d'informations n'avaient pu être mis en évidence. Pour ce qui concerne la difficulté, que nous avons définie comme la mise en relation plus ou moins aisée des informations permettant l'instanciation d'un plan de routine pour les cas faciles ou l'ajustement d'un plan pour les cas difficiles, nous avons pu vérifier, à l'aide de l'évaluation de ces cas sur les quatre dimensions présentées dans l'expérience 1, que les sujets différencient effectivement ces cas quant à la difficulté. Toutefois, ce sont des cas habituels, rencontrés dans leur pratique quotidienne et, nos sujets étant expérimentés, il semble que ce

facteur ne modifie pas les stratégies de prise d'information.

Pour ce qui concerne la quantité d'unités sémantiques, nous avons observé un effet trivial (plus il y a d'informations, plus le temps de lecture global est long), effet qui disparaît dès que l'on s'intéresse au temps par champs. Il semble donc que les stratégies de prise d'information ne soient pas influencées par ce facteur.

Les résultats présentés dans les tableaux 3 et 4 permettent de montrer que les champs qui sont à la fois les plus consultés, les plus rappelés et ce, en premier, sont les champs contenant les informations permettant de choisir ou d'élaborer le plan. Ces champs sont également ceux qui sont consultés le plus rapidement. Ces résultats semblent aller dans le sens de notre hypothèse selon laquelle les informations nécessaires à la sélection du plan sont prises en premier et ont un poids particulier dans la prise de décision, ce qui est confirmé par le fait qu'elles sont également rappelées de manière un peu plus importante que les autres et ce, en premier.

Les informations relatives aux ajustements du plan choisi (modification et particularisation) sont quant à elles prises plus tardivement, sont un peu moins consultées moins rappelées. Ce résultat semble confirmer les travaux de Xiao (1994 ; Xiao *et al.*, 1997a,b) qui parle de planification fragmentaire. Il semble que les anesthésistes ne planifient que partiellement l'anesthésie en prenant en considération un nombre d'éléments limités à partir desquels ils choisissent un plan qu'ils ne spécifient que partiellement, les éléments utiles à la décision et/ou qui permettent une anticipation des risques étant privilégiés.

Il est intéressant de noter que la catégorie « préconditions globales » apparaît comme atypique. Ses champs sont peu consultés, très rapidement et ce, de manière relativement précoce, le même patron apparaissant pour le rappel. Il nous faut signaler ici que les 6 champs qui constituent cette catégorie « se conduisent » de manière différente : 3 des champs sont regardés en tout premier lieu et les 3 autres le sont en tout dernier ; ce qui peut s'expliquer par le fait que les 3 champs consultés en premier sont en fait des champs de vérification qui permettent de constater que la fiche correspond bien au patient qui arrive en salle d'opération, alors que les autres représentent peu d'intérêt pour l'activité à ce moment, la décision d'opérer étant prise auparavant.

5 DISCUSSION GÉNÉRALE

Les résultats des deux expériences semblent bien montrer que les deux phases étudiées ici participent à la sélection/élaboration du plan.

La première phase per-opératoire se caractérise par la mise en œuvre de stratégies de gestion de prises d'information qui permettent, par le biais d'une prise d'information articulant des stratégies ascendantes (dirigées les champs de la fiche) et descendantes (dirigées par la représentation en cours d'élaboration et la connaissance des plans possibles), d'élaborer une représentation remplissant une double fonction dans le processus de planification : une fonction de sélection des informations pertinentes et une fonction de transmission de ces informations.

Comme nous le supposons, les informations transmises par le biais de la fiche comportent une partie des « *points for consideration* » mis en évidence par Xiao (Xiao *et al.*, 1997a,b). Cette liste de considération fonctionnerait comme un ensemble d'« indicateurs d'alerte » qui guident l'attention de l'anesthésiste de bloc, à la fois lors de la prise d'informations précédant l'induction pour la sélection du plan et, en cours d'action, dans un environnement dynamique, multitâches pour la réalisation de buts multiples et souvent conflictuels. Cette fonction de la fiche d'anesthésie est mise en évidence à la fois par le fait que près des trois quarts des informations notées renvoient à l'ajustement des plans (particularisation et/ou modification et par le positionnement de différents marqueurs utilisés pour mettre en évidence les informations (indicateurs d'alarmes ou du fait que « tout est normal »).

Lors de la prise d'information effectuée au début de la phase per-opératoire, nous avons pu vérifier l'hypothèse selon laquelle les informations qui sont majoritairement prises et ce, en premier, sont les informations servant à sélectionner le plan. Ces informations, qui représentent 10% des informations notées par les anesthésistes lors de la consultation pré-opératoire, représentent 15% des informations consultés et près de 20% des informations rappelées par les anesthésistes dans le deuxième expérience. Les informations de préconditions globales, qui représentent 23% des informations notées sur la fiche, ne représentent que 10% des informations consultées et 6% des informations rappelées. Quant aux informations relatives à l'ajustement des plans, alors qu'elles représentaient globalement près de 75% des informations notées, elles ne représentent que 65% des

informations consultées et rappelées. Les informations permettant d'instancier le plan à un niveau plus opérationnel ne sont donc pas toutes utilisées lors de la consultation des informations de la fiche d'anesthésie. Ce constat va dans le sens de Xiao (Xiao *et al.*, 1997a,b) selon lequel la planification apparaît comme fragmentaire. Il nous semble cependant nécessaire de moduler cette conclusion en rappelant qu'étant donné que la plupart des cas étudiés, qu'ils soient simples ou plus difficiles, sont des cas « habituels », l'instanciation d'un plan spécifié dans ses moindres détails n'est nécessaire ni pour la prise de décision relative à la faisabilité de l'intervention, ni pour la planification de l'intervention.

Ces auteurs constatent par ailleurs que les anesthésistes se focalisent plus sur l'identification des problèmes que sur les solutions particulières. Ceci semble également confirmé par les données de la première expérience qui montrent que très peu d'éléments explicites de planification ou de solution sont présents. On peut toutefois se demander si, dans le cas des anesthésistes sujets de cette étude, un tel constat n'est pas dû en partie au fait qu'ils savent que l'intervention ne sera très probablement pas effectuée par eux-mêmes. Ils pourraient dans ce cas préférer transmettre à l'anesthésiste en charge de l'intervention des informations majoritairement brutes, en insistant toutefois sur les éventuels obstacles aux procédures de routine, laissant ainsi à ce dernier la possibilité de se construire sa propre représentation du cas. Par ailleurs, nous n'avons pas pu étudier cet aspect dans la seconde expérience, dans la mesure où, à cause du logiciel, qui ne distinguait pas les différents éléments des champs, nous n'avons pu analyser une éventuelle prise d'information spécifique de ces éléments de planification ou de réponse à un problème anticipé.

6 CONCLUSION

La situation d'anesthésie semble être une situation particulièrement appropriée pour l'étude des activités de planification, considérées comme essentielles à la supervision de situations dynamiques. En effet, elle permet d'étudier les différents types d'activité que recouvre la notion de planification : la planification préalable, puisqu'elle fait partie de ces situations à risque et sous fortes contraintes temporelles qui nécessitent une telle activité ; la planification dans l'action, puisque le processus présente des phases de faible charge pendant lesquelles la planification de phases éloignées temporellement (comme la fin de l'anesthésie) peut être effectuée ; l'ajustement de plans, dans la mesure où le processus physiologique est de nature particulièrement instable sous conditions anesthésiques ; et enfin, la replanification, puisque le processus n'est pas aussi rapide que l'aviation de combat et que certains incidents peuvent nécessiter une telle activité.

Dans les expériences rapportées ici, nous n'avons envisagé que la planification préalable et sous l'angle restreint de la gestion de la prise d'informations sous-tendant la construction de la représentation sur laquelle repose la planification. Les résultats, mis en parallèle avec ceux de Xiao (Xiao *et al.*, 1992a,b ; 1977a,b) et de Gaba (1989 ; 1994 ; Gaba *et al.*, 1995), ont permis de détailler quelques caractéristiques de cette planification préalable. Elle repose sur des stratégies de gestion de prise d'informations de type opportunistes qui permettent que la construction de la représentation du cas s'élabore progressivement à partir des informations données par le patient, mais également à partir des connaissances que les anesthésistes possèdent sur les différents plans possibles. Elle apparaît schématique, n'intégrant pas la totalité des informations disponibles, mais se focalisant sur les plus pertinentes à un niveau d'abstraction relativement élevé, ce qui est cohérent dans la mesure où les anesthésistes sujets de ces expériences sont des praticiens expérimentés qui n'ont pas besoin de plans spécifiés dans les moindres détails. La sélection du plan est effectuée à partir d'un ensemble d'informations relativement restreint, sur lequel les sujets passent très peu de temps, ce qui semble vérifier le constat précédent.

Nous envisageons de poursuivre ces recherches dans deux directions. Il apparaît essentiel d'élargir ces résultats en nous intéressant d'une part aux ajustements de plans et aux éventuelles planifications et replanifications effectuées dans la suite de la prise en charge. Une analyse plus précise des éléments intégrés dans le plan est également nécessaire et, en particulier, une étude de la manière dont les protocoles d'anesthésie sont intégrés dans le plan.

Par ailleurs, dans la mesure où il s'agit d'une activité doublement collective (équipe de bloc opératoire, mais également équipe d'anesthésistes se relayant pour effectuer les différentes phases), il nous semble intéressant d'étudier cette composante. Cette situation peut en effet permettre d'étudier une activité de coopération asynchrone, celle qui est nécessaire entre les différents anesthésistes en charge du processus. Nous envisageons de commencer cette étude en affinant la question posée dans

la discussion, question relative au fait que les anesthésistes de consultation, sachant qu'ils ne seront probablement pas en charge de l'opération ne notent pas les informations de la même manière qu'ils le feraient pour eux-mêmes.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R., & Deblon, F. (1992). Cognitive modelling of fighter aircraft process control : a step towards an intelligent on-board assistance system. *The International Journal of Man-Machine Studies*, 36 , 639-671.
- Anceaux, F., & Beuscart-Zéphir, M. C. (sous presse). La consultation pré-opératoire en anesthésie: gestion de la prise d'information et rôle des données retenues dans la planification du processus d'anesthésie. *Le Travail Humain*.
- Anceaux, F., Beuscart-Zéphir, M. C., & Sockeel, P. (1999). Human-machine cooperation in the anesthetic consultation: importance of planning activities for information gathering. In J. M. Hoc, P. Millot, E. Hollnagel, & P. C. Cacciabue (Eds.), *Proceedings of CSAPC'99* (pp. 15-20). Valenciennes, F: Presses Universitaires de Valenciennes.
- de Keyser, V., & Nyssen, A. S. (1993). Les erreurs humaines en anesthésie. *Le Travail Humain*, 56, 243-266.
- de Keyser, V., & Woods, D. D. (1990). Fixation errors : Failures to revise situation assessment in dynamic and risky systems. In A.Colombo, & A. Saiz de Bustamante (Eds.), *Systems Reliability Assessment* (pp. 231-251). Dordrecht, The Netherlands : Kluwer Academic.
- Denecker, P. (1999). Les composantes symboliques et sub-symboliques de l'anticipation dans la gestion des situations dynamiques. *Le Travail Humain*, 62, 363-385.
- Gaba, D. M. (1989). Human error in anesthetic mishaps. *International Anesthesiology Clinics*, 27, 137-147.
- Gaba, D. M. (1994). Human error in dynamic medical domains. In M.S.Bogner (Ed.), *Human Error in Medicine* (pp. 197-224). Hillsdale, NJ : L.E.A.
- Gaba, D. M., Howard, S. K., & Small, S. D. (1995). Situation awareness in anesthesiology. *Human Factors*, 37, 20-31.
- Hayes-Roth, B., & Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, 3, 275-310.
- Hoc, J. M. (in press). Planning in dynamic situations: some findings in complex supervisory control. In R. Jorna (Ed.), *Planning and intelligence*. New York : Wiley.
- Hoc, J. M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble, France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewoods-Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nyssen, A. S., & Javaux, D. (1996). Analysis of synchronization constraints and associated errors in collective work environments. *Ergonomics*, 39, 1249-1264.
- Sacerdoti, E. D. (1977). *A structure for plans and behavior*. New York: Elsevier.
- Simon, H. A. (1969). *The science of artificial*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Valot, C., & Deblon, F. (1990). Mission preparation: how does the pilot manage his own competences? In B. Pavard (Ed.), *Human-machine interaction in aeronautics and space* (pp. 163-181). Toulouse, France: Octarès.
- Xiao, Y. (1994). *Interacting with complex work environments : a field study and a planning model*. Ph.D. dissertation, Toronto : University of Toronto.
- Xiao, Y., Mackenzie, C. F., & The Lotas Group (1995). Decision making in dynamic environments: fixation errors and their causes. In *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society 39th Annual Meeting* Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Xiao, Y., Milgram, P., & Doyle, D. J. (1992b). Incident evolution and task demands: an analysis and a field study of 'going sour' incidents. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society, 36th Annual Meeting* (pp. 1279-1283). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Xiao, Y., Milgram, P., & Doyle, D. J. (1992a). Off-loading, prevention, and preparation : planning behaviours in complex systems management. In *Proceedings of the 25th Annual Conference of Human Factors Association of Canada* (pp. 193-200). Mississauga, Ontario: Human Factors Association of Canada.
- Xiao, Y., Milgram, P., & Doyle, D. J. (1997a). Capturing and modeling planning expertise in anaesthesiology : results of a field study. In C.E.Zsombok, & G. A. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making* (pp. 197-205). Mahwah, NJ: L.E.A.
- Xiao, Y., Milgram, P., & Doyle, D. J. (1997b). Planning behavior and its functional role in interactions with complex systems. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics - Part A : Systems and humans*, 27, 313-324.

Éléments pour une modélisation

du concept d'affordance

Thierry Morineau

Laboratoire GRESICO

Université de Bretagne-Sud

Campus de Tohannic - BP 573

56017 Vannes Cedex

Thierry.Morineau@univ-ubs.fr

RÉSUMÉ

La psychologie écologique propose le concept d'affordance pour rendre compte de l'adaptation immédiate d'un individu à son environnement. Ce concept s'est infiltré récemment en psychologie ergonomique, dans l'analyse de l'activité et à travers la définition d'interfaces dites "écologiques". Nous présentons dans ce papier des expériences menées en environnement virtuel et dans le domaine du contrôle de trafic aérien. Elles servent de base pour un recadrage conceptuel de l'affordance vers sa définition d'origine. D'autre part, nous proposons une première modélisation des affordances et de leur sélection cognitive. Cette modélisation a pour objectif d'aider à la définition de systèmes automatiques et d'environnements virtuels, pour en faciliter l'exploration par l'utilisateur.

MOTS-CLÉS

Affordance, Contrôle cognitif, Interface écologique, Réalité Virtuelle, Contrôle de Trafic Aérien

1 INTRODUCTION

À l'origine, le concept d'affordance a émergé des travaux de Gibson en psychologie écologique. La préoccupation de cet auteur résidait dans la manière de rendre compte de l'adaptation sophistiquée de tout individu vivant, animal ou humain, à son environnement et cela malgré la taille parfois très rudimentaire du cerveau de certains animaux (Gibson, 1979). Pour comprendre ce que représente une affordance dans son acception d'origine, il faut se détacher à la fois d'une dichotomie parfaite entre l'individu et son environnement ambiant et d'une vision symbolique du traitement de l'information. Tout d'abord, l'individu est inscrit dans son environnement. L'interaction entre d'une part, les caractéristiques de l'individu, son action actuelle et d'autre part, les propriétés du contexte environnemental vont déterminer en commun la nature des sollicitations offertes et leur valeur adaptative. Par exemple en ce qui concerne les caractéristiques de l'individu, selon la taille de l'animal un buisson constituera pour lui un simple obstacle dans sa course ou bien un refuge où il pourra facilement se cacher des prédateurs. En ce qui concerne l'action en cours de réalisation, Gibson a montré par exemple que le flux optique constituait une affordance essentielle dans la locomotion. Ce flux est le résultat d'une interaction entre le défilement de la scène visuelle, la vitesse et l'orientation de l'animal dans son déplacement (Gibson, 1956). Aussi, la science physique n'intéresse Gibson que dans une marge de phénomènes se produisant à l'échelle de l'individu et à la mesure de ce qu'il peut faire ou fait actuellement l'expérience. Ces phénomènes physiques prennent alors pleinement une signification pour l'individu dans son adaptation.

Le second aspect à prendre en considération est le caractère non symbolique des affordances. Une sollicitation provenant d'une propriété de l'environnement et ayant une valeur adaptative pour l'individu est perçue de manière directe par ce dernier, compte tenu de ses caractéristiques biomécaniques et sensori-motrices. Une affordance est avant tout une perception qui permet une adaptation immédiate de l'individu sous la forme d'une action prenant en compte cette perception. L'intégration de l'affordance dans la boucle perception-action ne nécessite pas de médiateurs cognitifs relevant de signes, dont la sémantique serait stockée dans une mémoire déclarative.

En faisant de l'adaptation de l'individu à son milieu environnant le centre de sa problématique, la psychologie écologique intéresse bien évidemment la psychologie ergonomique. Dans cette discipline, on peut distinguer actuellement deux usages du concept d'affordance pour l'adaptation des outils à l'être humain. La première relève d'une volonté de transférer les affordances présentes dans le réel au sein de simulateurs ou d'environnements virtuels. Dans ce cadre par exemple, le flux optique a fait l'objet de travaux pour aider à la conception d'aides au pilotage d'avion ou d'hélicoptère ou encore à l'intégration d'indices de déplacement dans les simulateurs afin d'en améliorer leur réalisme (Padmos & Milders, 1992).

L'autre approche est d'une certaine manière plus élaborée d'un point de vue conceptuel, elle envisage une nouvelle façon d'analyser l'activité, ainsi qu'un nouveau cadre de conception des interfaces classiques de contrôle-commande. Dans cette optique, l'activité de l'opérateur n'est plus à appréhender sous la forme d'une procédure devant respecter les consignes de la tâche, mais plutôt sous la forme d'un espace de possibles dans lequel l'opérateur va naviguer, en mettant en œuvre des stratégies opératoires et des apprentissages (Flach, 1990 ; Vicente & Rasmussen, 1990). D'autre part et en corollaire, l'interface ne peut plus être considérée comme un moyen permettant une séquence d'action dont la validité est prédéfinie. Elle doit au contraire constituer une matérialisation de l'espace des actions possibles, en affichant de manière transparente à l'opérateur les limites des fonctionnalités du système, les contraintes que pose le domaine du travail prescrit, et ceci sur la base des compétences dont dispose l'opérateur (Pejtersen & Rasmussen, 1997). Cela amène les auteurs à parler d'interface écologique (Ecological Interface Design) fondée sur la mise en évidence des affordances nécessaires à l'accomplissement de la tâche par l'opérateur.

Cette application du concept d'affordance au domaine du travail se traduit toutefois par une redéfinition significative du concept d'affordance. La raison du glissement sémantique observé semble être liée à une déduction. Pour élaborer un modèle de l'activité d'un opérateur, il est nécessaire de rendre compte des choix qu'il effectue parmi l'ensemble complexe des informations ou affordances auxquelles il se doit faire face. Ceci a donc conduit les auteurs à soulever le problème critique dans la théorie de Gibson de la sélection des affordances parmi un ensemble de sollicitations. Ce problème a également été soulevé par Reed (1996). Celui-ci le résout en considérant que la sélection des affordances se réalise à travers l'élaboration par le sujet d'une intention qui filtre les affordances pertinentes à un moment donné. De leur côté, Vicente et Rasmussen (1990) proposent que l'opérateur réalise une hiérarchisation des affordances selon une dimension fonctionnelle "fin-moyens". Une affordance singulière vient alors s'imbriquer dans un tissu relationnel élaboré par le sujet pour atteindre une fin à l'aide de certains moyens (tableau 1). La finalité vient spécifier le moyen à sélectionner, tandis que le moyen sélectionné contraint l'obtention de la fin. Dans cette optique, nous obtenons un réseau fonctionnel entre les différentes affordances. Toutefois, cette démarche de hiérarchisation des affordances a pour effet consécutif de considérer différentes strates d'affordances ayant des niveaux d'abstraction différents, du plus abstrait au plus concret : valeurs, priorités, contextes, mouvements, objets et environnement (Vicente & Rasmussen, 1990). Cette hiérarchisation implique alors que certaines strates d'affordances considérées comme typiquement des finalités constituent des éléments abstraits que l'on peut considérer comme disposant d'une représentation symbolique au niveau cognitif. D'autre part, selon les strates considérées nous obtenons une dissociation entre des affordances plutôt internes à l'individu (valeurs, priorités, contexte, mouvement) et des affordances plutôt externes (objets et environnement). L'affordance ne devient donc qu'indirectement le lieu d'une interaction entre l'environnement et l'individu, via une chaîne de causalité fonctionnelle. Ces deux dissociations vont à l'encontre, comme nous l'avons vu précédemment, d'une définition stricte de la notion d'affordance : inscription de l'individu au sein de l'environnement et contrôle cognitif non symbolique.

En fait, ces différentes strates de l'échelle fin-moyens que les auteurs mettent en évidence semblent bien refléter différents niveaux de contrôle cognitif dont seul le niveau le plus bas, relève

d'un traitement véritablement fondé sur des affordances au sens strict du terme. Ainsi, Pejtersen & Rasmussen (1997) suggèrent eux-mêmes que : “ la perception des affordances sur les différents niveaux entretient différents rôles dans l'activité humaine de contrôle. La sélection des buts à poursuivre est liée à la perception des valeurs au plus haut niveau de l'échelle, la planification de l'activité à une perception à un niveau médian, tandis que le contrôle précis des mouvements dépend de la perception des objets physiques et du contexte au niveau le plus bas de l'échelle ” (p.322. Pejtersen & Rasmussen, 1997). Aussi, ces différentes strates sont plus le reflet de niveaux cognitifs tels que ceux proposés par Hoc et Amalberti (1995) : boucle à long terme basée sur des connaissances et méta-connaissances, boucle à moyen terme basée sur la représentation mentale et boucle à court terme, basée sur des routines et des affordances.

Tableau 1 : Les affordances structurées dans une hiérarchie “ fin-moyen ”
adapté à partir de Vicente & Rasmussen (1990)

VALEURS PRIORITÉS	Survie	Plaisir	Altruïsme
	Récompense	Peine	Nourrir
	Se nourrir	Confort	Construire
	Intimité	Copulation	Coopérer
CONTEXTES	Danger		
	Chaleur	Boire	Communiquer
	Repas	Se laver	Se baigner
	Blessure	Soutenir	Combattre
	Construction	Aider	Punir
MOUVEMENTS	Locomotion		
	Grimper	S'asseoir	Tomber
	Nager	Courir	Se placer
	Respirer	Enfoncer	Transporter
	Monter	Attraper	Verser
OBJETS & ENVIRONNEMENT	Substances	Objets	Espace
	Surfaces		

Mais, cette généralisation conceptuelle du concept d'affordance sur le plan psychologique ne remet pas en cause d'après nous, de manière fondamentale l'intérêt d'exemples concrets de développement d'interfaces écologiques, telles que DURESS II (Christophersen, Hunter, & Vicenten, 1998) ou bien l'interface développée par Effken, Kim et Shaw (1997) dans le domaine médical. Toutefois, nous pensons qu'il est nécessaire de mieux circonscrire sur le plan psychologique le rôle dont dispose le traitement des affordances, afin d'en tirer profit de manière optimale. L'approche écologique des interfaces Homme-Machine constitue une vision prometteuse des nouveaux systèmes, nés du développement actuel des techniques de Réalité Virtuelle. D'autre part, le fait que l'opérateur est de plus en plus confronté à un flux excessif d'informations avec le développement actuel des moyens de communication constitue un problème pouvant être traité sous cet angle (Lahlou, 2000).

Compte tenu de ces éléments, notre travail actuellement consiste à reconsidérer le concept d'affordance dans son application au domaine de la psychologie ergonomique. Nous nous proposons ici de montrer à travers un ensemble de travaux théoriques et empiriques que :

- (1) L'affordance dans son acception première peut rendre compte de phénomènes critiques dans l'interaction Homme-Machine, où un contrôle cognitif principalement basé sur les affordances peut générer des effets négatifs dans l'adaptation humaine ;
- (2) L'affordance relève d'un niveau de contrôle cognitif singulier qui est à intégrer dans une architecture cognitive plus large, afin de comprendre et de profiter de niveaux de régulation cognitifs supérieurs ;
- (3) Une modélisation des affordances et de leur sélection sans faire appel à un niveau de contrôle cognitif supérieur de nature symbolique est possible. Cette modélisation doit être menée pour mieux circonscrire le rôle de ce niveau d'adaptation de base.

2 AFFORDANCES ET SITUATIONS CRITIQUES DANS L'ACTIVITE

Si les affordances ont un rôle à jouer dans la détermination des comportements humains, ce rôle serait en toute logique prégnant durant une activité d'exploration de l'environnement ambiant. Cette activité consiste en effet à collecter les informations critiques pour l'adaptation de l'individu à un nouvel environnement ou bien à un état nouveau d'un environnement habituel. Reed (1996) envisage ainsi une étape d'exploration des affordances qui vient alimenter la boucle perception-action. Dans le cadre de la navigation dans un environnement simulé ou bien réel, Spence (1999) souligne l'importance d'une première étape cognitive de collecte des données critiques dans l'environnement (browsing), qui permet l'élaboration ultérieure d'un modèle mental. Cette étape de browsing selon l'auteur serait largement non consciente. Enfin, Lahlou (2000) explique le syndrome de saturation cognitive par le flux d'information (Cognitive Overflow Syndrome) dans le travail de bureau de cadres supérieurs, par une dépendance à l'égard des affordances qu'ils traitent dans le cours de leur activité. Celles-ci constituent des attracteurs cognitifs plus forts que la stratégie de travail planifiée préalablement, ce qui conduit les opérateurs à un " papillonnage ", sans que les buts planifiés soient atteints. Cette force des affordances est selon l'auteur lié à une activité exploratoire systématique et presque inévitable du sujet à l'égard de son environnement de travail.

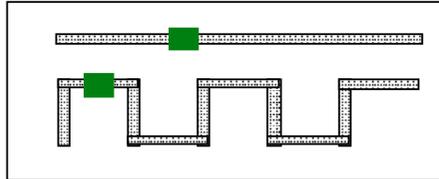
Dans le domaine de la conception d'environnements virtuels, le concept d'affordance est appréhendé comme un moyen pour développer un espace virtuel directement signifiant pour le sujet immergé à l'aide d'un casque de Réalité Virtuelle par exemple (Cronin, 1997). Il est vrai que les techniques de Réalité Virtuelle ouvrent la voie au développement d'interfaces affichant des propriétés proches de celles rencontrées dans le monde naturel. Les objets qui sont fondamentalement des abstractions générées par ordinateur sont représentés comme des objets réels à trois dimensions, avec des textures, des ombres et un positionnement dans un espace. Les interfaces peuvent solliciter également des retours tactiles et kinesthésiques à l'égard de l'objet. D'autre part, l'opérateur humain peut disposer d'un point de vue égocentré vis-à-vis de ces objets et il peut se mouvoir dans l'environnement. Aussi, nous pouvons faire l'hypothèse que lors d'une exploration de ce nouveau type d'environnement, l'individu va être conduit à réaliser des traitements cognitifs où les propriétés des objets représentés auront un rôle prégnant. L'interface dispose d'une structure fonctionnelle mettant en avant de manière inédite ces caractéristiques sensori-motrices, prenant le statut d'affordance. De plus, le sujet est dans une situation globale d'exploration d'un environnement nouveau.

Pour tester notre hypothèse, nous avons soumis à des adultes immergés pour la première fois dans un environnement virtuel, un ensemble de problèmes à résoudre basé sur une dissociation entre les caractéristiques de surface que présentent ces problèmes et leurs structures profondes de résolution (Morineau, 2000a). Nous avons pour cela utilisé dans une première expériences des épreuves conçues à l'origine par Piaget. En effet, ces problèmes relèvent typiquement de problèmes dissociant caractéristiques de surface et structure profonde du problème. Prenons par exemple, une épreuve de conservation telle que celle consistant à transvaser de l'eau devant un jeune enfant, d'un verre A en un verre B plus mince ou en un verre C plus large. Jusque vers 7-8 ans, l'enfant considère que le liquide augmente ou diminue en quantité, selon la forme du contenant malgré les transvasements réalisés devant lui (Piaget et Inhelder, 1966). Son raisonnement est exclusivement fondé sur les apparences trompeuses, que suggèrent la forme plus ou moins allongée du verre. Autrement dit, la propriété " hauteur à laquelle se trouve le niveau du liquide " est une affordance qu'il est nécessaire de dépasser pour analyser correctement la situation et se représenter mentalement la permanence de l'objet malgré ses transformations.

Nous avons donc choisi dans une première expérience de présenter des problèmes piagetiens à des adultes immergés dans un environnement virtuel (un bureau) à l'aide d'un casque de Réalité Virtuelle. La première épreuve était celle dite du "chemin parcouru" (Piaget, 1946). Elle consiste à présenter au sujet deux parcours, sur lesquels se trouve sur chacun d'entre eux, un objet pouvant bouger (un cube dans notre cas). L'expérimentateur déplace le cube situé sur le parcours en créneau et le sujet doit déplacer le cube du parcours d'en haut, de manière à ce qu'il réalise un parcours de

longueur identique (figure 1). Les deux parcours malgré leurs formes différentes ont un point de départ et d'arrivée en correspondance spatiale. Les enfants n'ayant pas atteint le stade des opérations concrètes placent le cube d'en haut, de manière à ce qu'il y ait une correspondance terme à terme au niveau visuel, entre les deux cubes. Il faut attendre l'âge de 7-8 ans pour qu'une réponse, en termes de longueurs de chemin parcouru soit donnée et donc, pour que l'enfant se détache des fausses équivalences que la perception visuelle lui apporte (affordance directement perçue).

Figure 1 : L'épreuve du chemin parcouru (inspiré de Piaget, 1946)



La seconde épreuve présentée aux sujets était celle de la quantification de l'inclusion (Piaget et Szeminska, 1967). Il s'agit d'estimer à quel moment l'enfant est en mesure de prendre en considération la relation d'inclusion, qui se définit en compréhension (appartenance qualitative d'un sous-ensemble à un ensemble : "la marguerite est une fleur") et en extension (appartenance quantitative à un ensemble : "toutes les marguerites sont quelques fleurs"). Il faudrait attendre l'accès au stade des opérations concrètes (7-8 ans), pour que l'emboîtement des classes se réalise dans une relation d'inclusion. Par la suite, ce résultat a été remis quelque peu en cause et affiné, notamment par Bideaud et Lautrey (1983). En effet, il a été montré que si l'enfant arrivait au stade des opérations concrètes réussissait à donner une réponse correcte à la question, il n'en reste pas moins qu'il échouait à une question, telle que par exemple la suivante : "Peut-on faire quelque chose ou ne peut-on rien faire pour qu'il y ait plus de marguerites que de fleurs ?" (épreuve "modification"). À cette question, l'enfant âgé de moins de 11 ans répond de manière affirmative, car il considère toujours les deux classes comme disjointes, au niveau de leur extension sur la base des informations visuelles que fournit le matériel : un nombre plus élevé de marguerites. Nous présentions donc aux sujets adultes immergés 5 images consécutives de classes d'animaux et végétales, sur un écran dans le bureau virtuel. Les sujets devaient répondre à la question classique sur l'inclusion logique et à la question subsidiaire sur la possibilité de modifier le rapport d'inclusion.

Les résultats globaux de cette expérience montrent que de jeunes adultes immergés dans le virtuel tombent de manière fréquente dans les pièges posés par les problèmes piagetiens, sans pouvoir faire appel à une représentation rationnelle de la structure du problème. À ce propos, l'analyse des réponses verbales données par les sujets immergés pour les deux problèmes d'inclusion logique montre des raisonnements proches de ceux que l'on peut trouver chez l'enfant échouant aux épreuves. Une seconde expérience portant sur des problèmes-pièges présentés oralement montre également, mais dans une moindre mesure, des erreurs élémentaires des sujets. Ils prennent en compte des informations auditives non-pertinentes pour la structuration du problème.

L'individu confronté à cet environnement nouveau traiterait donc de manière privilégiée les informations sensori-motrices jugées par lui directement pertinentes pour sa réponse dans le cadre de cette exploration d'un environnement aux propriétés nouvelles. D'ailleurs, une autre expérience portant cette fois-ci sur la réalisation de pantomimes d'actions en environnement virtuel confirme cette adaptation immédiate aux propriétés de l'environnement (Morineau, 1996). Les pantomimes d'actions effectuées se rapprochent de celles effectuées par les groupes d'enfants dans le réel. Ces derniers sont confrontés en fait à la même situation que les adultes dans le virtuel : une situation de découverte des propriétés de l'environnement et des modes d'action sur celui-ci.

À présent, si l'on en revient à l'apport de la notion d'affordance dans la définition d'interfaces et de systèmes automatiques, on notera qu'un traitement exclusivement fondé sur les affordances peut être dangereux d'un point de vue rationnel. Ceci implique deux choses. La première est qu'il est nécessaire d'intégrer le traitement des affordances dans une architecture cognitive plus générale faisant appel à des stratégies adaptatives plus sophistiquées pouvant être en décalage avec

une réponse directe relative à une information perceptive. Le second élément est qu'il est nécessaire de modéliser précisément les caractéristiques des affordances, afin qu'elles disposent de propriétés permettant une adaptation à court terme, adéquate pour le sujet.

3 AFFORDANCES ET NIVEAUX DE CONTROLE COGNITIF

Les travaux précédents indiquent qu'un traitement exclusivement fondé sur des affordances conduit à terme à des inadaptations du sujet : réponse inadaptée à la résolution d'un problème nécessitant une abstraction de la réalité. Pour comprendre des adaptations qui ne tombent pas dans des impasses (on pourrait parler de "minima locaux"), l'individu doit disposer d'une capacité d'inhibition des affordances saillantes dans l'environnement (Houdé, 1995), d'une décentration cognitive (représentation mentale) et de connaissances liées à ses expériences antérieures dépassant l'adaptation à la situation immédiate telle qu'elle se présente. L'architecture cognitive proposée par Hoc & Amalberti (1995) propose ainsi différents niveaux de contrôle cognitif jouant sur différents horizons temporels : long terme, moyen terme et court terme.

Une expérience sur simulateur avec des contrôleurs du trafic Aérien professionnels nous a permis de voir émerger ces différents niveaux de contrôle cognitif (Hoc, Morineau, & Denecker, soumis ; Morineau 2000b ; Morineau, 2000c). Le contrôle aérien "en route" consiste à gérer un trafic sur un large secteur. Les opérateurs doivent assurer le bon déroulement de différents vols d'avion dans le secteur. Ces avions suivent un ensemble de routes dont les croisements sont représentés par des balises. L'objectif principal est de réduire les risques de conflit. Les opérateurs peuvent ainsi modifier la trajectoire d'un avion (cap, altitude, vitesse) de façon à ce qu'il passe à distance suffisante des autres avions. Les opérateurs disposent d'une interface de contrôle comprenant une image-radar restituant la position en temps réel des avions et un ensemble de bandes papiers (appelés strips) précisant pour chaque avion son plan de vol (altitude, heures de passages sur les balises, ...). Comme moyens de commande, l'opérateur peut donner des instructions aux avions dans le secteur, ainsi qu'échanger avec les contrôleurs des secteurs adjacents à travers un contact radio.

Dans l'objectif d'aider à la conception d'un système automatique pour la résolution de conflits aériens, nous avons analysé à partir de données collectées, les types de contrôle cognitifs engagés pour résoudre des conflits. Nous avons sondé la possibilité d'un contrôle anticipatif des conflits, à partir d'une technique de gel de la simulation à certains moments (Boude & Cellier, 1996). Les opérateurs devaient alors dessiner les positions des avions sur une carte "radar" en papier. D'autre part, nous avons tenté d'accéder à un niveau de contrôle à court terme chez l'opérateur, via une mise en correspondance des étapes de l'activité cognitive (identification de l'objet, décision, action de résolution) avec certains états liés au trafic aérien à réguler dans le secteur. Cette articulation temporelle entre des étapes de l'activité et des états du trafic peut alors nous montrer la valeur adaptative de ces états pour l'opérateur (statut d'affordance).

Les résultats indiquent que les représentations graphiques exécutées par les opérateurs ont un caractère majoritairement anticipatif. Les avions seraient représentés mentalement en avance par rapport à leur position réelle. Par contre, les étapes de l'activité cognitive sont particulièrement bien synchronisées dans le temps, avec certains états du processus. Ces données nous permettent donc de supposer un fonctionnement en parallèle de différents niveaux de contrôle de l'activité : une représentation mentale anticipatrice et un traitement immédiat des affordances. Ils nous conduisent donc à soutenir l'idée de la nécessité d'intégrer le traitement cognitif des affordances dans un ensemble de niveaux de traitements portant sur des objets et horizons temporels différents pour une même activité. Ces premiers résultats vont permettre de nous guider dans la définition du système d'aide à la résolution de conflits, notamment dans le sens d'une prise en compte de ces différents horizons temporels dans la présentation des informations.

4 PREMIERS ÉLÉMENTS POUR UNE MODÉLISATION DES AFFORDANCES

L'opacité fondamentale du fonctionnement de certains systèmes d'aide profiterait d'une conception fondée sur le traitement des affordances. Ainsi, l'opérateur pourrait comprendre de manière intuitive, ce que réalise le système et reprendre la main plus naturellement, si nécessaire.

D'autre part, les interfaces nouvelles basées sur la représentation d'environnements en images de synthèse (Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée) ou basées sur une retranscription d'un environnement distant (téléopération) viennent solliciter les compétences sensori-motrices de l'être dans le cadre d'une activité portant sur des objets abstraits, car artificiels ou éloignés. Cette situation paradoxale nécessite également la mise en place d'une démarche d'élaboration d'affordance adaptée, lors de la conception des systèmes.

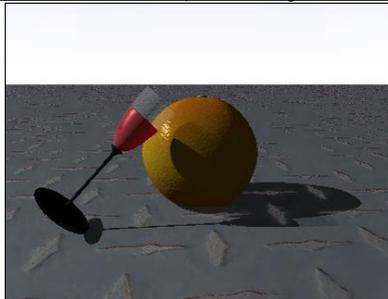
Sur la base de nos travaux actuels avec nos multiples collaborateurs dans le domaine des Sciences de l'Ingénieur (E. Colle, CEMIF, Evry ; P. Chedmail, IRCCyN, Nantes ; M. Parenthoën, ENIB, Brest), nous allons présenter ici une synthèse théorique sur les premiers éléments d'une modélisation des affordances et de leur sélection à un niveau non symbolique (Morineau, Chedmail, & Parenthoën, 2001).

4.1. Une définition opérationnelle de l'affordance

Une affordance représente concrètement une interaction individu-environnement, où les propriétés de l'environnement (objets et lois physiques) sont perçues par l'individu en fonction de ses propres caractéristiques (taille, champ de perception, champ d'action) et sa position à un moment donné (distance entre les propriétés et lui-même, action mise en œuvre, posture actuelle...). Dans le champ de la psychologie expérimentale, un certain nombre de travaux montrent ainsi que l'on peut mettre en évidence une estimation des affordances sur la base d'équations mathématiques. Ainsi, par exemple Mark et Vogele (1987) ont montré que les sujets évaluaient leur hauteur maximale d'assise sur une chaise sur la base d'un rapport constant avec la longueur de leurs jambes. Cette estimation subjective est valable également pour un sujet observant un acteur se présentant devant une chaise. Certains travaux indiquent également le rôle que peut jouer la hauteur de perception à laquelle se trouve un observateur pour estimer une affordance, ou bien encore le rôle des caractéristiques biomécaniques de l'individu (voir Stroffegen, Gorday, Sheng, & Flynn, 1999).

Ces facteurs nous semblent particulièrement importants lorsque le sujet est dans une situation instrumentale où il agit et perçoit à travers des outils disposant de caractéristiques spécifiques. Cela est vrai notamment pour les interactions Homme-Réalité Virtuelle. Les interfaces de contrôle (écran, casque de réalité virtuelle) mettent à la disposition du sujet un champ de perception spécifique contraignant la perception des affordances. Les interfaces de commande (gant de réalité virtuelle, clavier, joystick, ...) proposent selon leurs caractéristiques propres des champs d'action spécifiques. En situation réelle, cela est tout particulièrement vrai lors de l'usage d'un véhicule ou un robot téléopéré. Celui-ci constitue un médium définissant de manière spécifique les affordances à prendre en considération selon ses caractéristiques propres. De manière très générale en situation d'utilisation d'outils, il sera nécessaire d'analyser les affordances sur la base des sollicitations environnementales retransmises par les outils et interfaces à l'individu. Prenons un exemple fictif élémentaire pour illustrer notre propos. Imaginons qu'un individu est immergé dans un environnement virtuel et perçoit à un moment donné la scène présentée dans la figure 2.

Figure 2 : scène virtuelle conçue avec le logiciel STRATA-3D



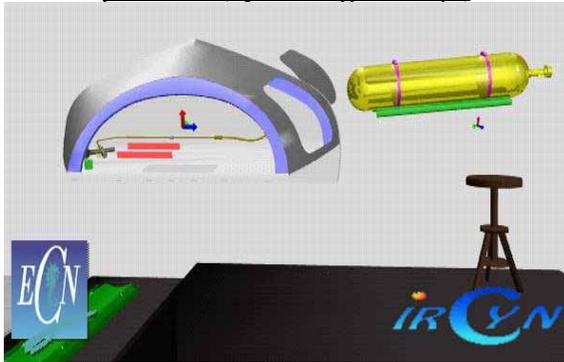
Cette scène malgré son réalisme écologique (texture, ombre, volume des objets, perspective donnée par la texture au sol) présente un ensemble de propriétés affordantes spécifiques. Tout d'abord, en ce qui concerne les objets et les lois physiques. On notera que le liquide présent dans le verre à pied ne subit pas la loi de la gravité, puisque le niveau du liquide reste perpendiculaire à l'axe du verre. En ce qui concerne le champ de perception de l'observateur, ce point de vue est inhabituel puisqu'il se situe à la hauteur de ces petits objets, quelque peu au-dessus de la surface du support (table ou sol). Le champ de perception présente donc des caractéristiques bien particulières vis-à-vis d'un point de vue habituel (adulte en position debout). Cela implique alors des questions sur la nature du champ d'action dont peut disposer le sujet immergé sur ces objets, par exemple est-ce que ces objets sont à une distance permettant de les atteindre directement ? La capture de ces différents éléments et la régulation du comportement en conséquence se feraient, selon nous, de manière non consciente durant l'exploration perceptivo-motrice de l'environnement. Cela ne signifie pas pour autant qu'au niveau symbolique, l'individu ne se construira pas en parallèle une représentation mentale particulière sur les formes et objets perçus, ayant pour but de les interpréter et les reconnaître.

4.2. La sélection des affordances

Une fois que l'ensemble des affordances nécessaires a été défini, il faut prendre en considération le fait que l'individu va de manière singulière sélectionner dans l'ensemble des possibles, certaines affordances plus que d'autres. A contrario de l'approche de Vicente et Rasmussen sur le mode de sélection des affordances, nous supposons qu'une sélection peut s'effectuer sans faire appel à une hiérarchisation "fin-moyen" conduisant à l'appel à des traitements cognitifs d'ordre supérieur. Cette sélection de nature "sub-symbolique" est en accord avec l'hypothèse d'un superviseur non-conscient sur le plan des structures cognitives (Norman & Shallice 1980 ; Paillard, 1994). Un premier critère automatique de sélection d'une affordance pourrait être sa valeur pour l'individu compte tenu de sa disposition actuelle et/ou de la disposition de l'outil qu'il utilise. Ainsi, Lewin (1936) proposa une théorie des champs de force dans laquelle chaque objet dispose d'une valeur attractive ou répulsive pour un individu. Plus récemment comme nous l'avons vu précédemment, Lahlou (2000) envisage les affordances comme des attracteurs cognitifs menant à une sélection automatique des schémas d'activités à mener, selon une hiérarchisation pouvant être contraire à celle menée à un niveau stratégique par le sujet (but planifié). Dans le cadre du déplacement d'un mobile (outil utilisé), les chemins constituent de manière directe des affordances attractives pour le mobile. Toutefois, un chemin se définira de manière intrinsèque en fonction des caractéristiques de ce mobile. Par exemple, un chemin pourra devenir un obstacle selon qu'il s'agisse d'une voiture classique ou bien d'un véhicule à quatre roues motrices à haut gabarit. Les propriétés répulsives seront celles ayant valeur d'obstacle dans ce cas-là.

Pour tendre vers une estimation des affordances, nous remarquons ainsi qu'il est nécessaire de mettre en correspondance les propriétés présentes dans l'environnement immédiat à un moment t et les caractéristiques du sujet et/ou de son outil. Dans cette optique, nous proposons de dresser des tableaux de contingences, dans lesquels nous allons réaliser une comptabilisation du nombre de relations de dépendance entre une propriété de l'environnement liée à un objet par exemple, et les caractéristiques de l'outil utilisé. La somme des relations de dépendance observée a priori entre une certaine propriété et l'ensemble des caractéristiques du sujet et/ou de l'outil concerné conduira à la mise en évidence de la valeur d'affordance de cette propriété. Nous pouvons alors réaliser une première hiérarchisation des propriétés de l'environnement entre elles selon leurs valeurs absolues d'affordance. Par exemple, nous travaillons en collaboration avec l'IRCCyN (Patrick Chedmail et Mathieu Guibert), sur une description des valeurs d'affordance des objets présents dans un environnement virtuel pour la CMAO (figure 3). Le système informatique développé recherche de manière automatique la trajectoire dans ce cas d'une bouteille d'oxygène pour l'insérer dans un avion. Il est assisté par l'opérateur via les images virtuelles sur lesquelles ce dernier peut agir et réguler la trajectoire proposée par le système automatique (Chedmail & Le Roy, 1999). Le tableau 2 présente, à titre illustratif, une première tentative de calcul des valeurs absolues d'affordances des propriétés rattachées aux objets dans la scène présentée (hormis le tabouret présent dans la figure 3).

Figure 3 : Point de vue sur l'application de planification automatique de trajectoire pour un mobile (logiciel développé à l'IRCCyN)



Les totaux obtenus en bas des colonnes du tableau indiquent a priori la “ force ” d’attraction ou de répulsion au sens Lewinian du terme que présentera chaque objet à l’égard de la bouteille d’oxygène. On notera que les rails du fait de leurs caractéristiques perçues permettent de les mettre en relation en priorité avec les rails disposés sous la bouteille, comparativement aux autres affordances attractives (valeur égale à 7). Cela suppose que lors d’une exploration de l’environnement, le sujet trouverait de manière intuitive l’action à réaliser, comme lors de la réalisation d’un puzzle élémentaire.

Une fois ces valeurs obtenues, il est nécessaire pour poser un modèle de la sélection automatique des affordances de tenir compte du niveau d’accessibilité des affordances, les unes à l’égard des autres. Prenons par exemple le cas d’un automobiliste se trouvant à l’entrée d’un carrefour giratoire. Sur la base du calcul des valeurs d’affordance des sorties du carrefour (routes), on peut obtenir des valeurs absolues identiques. On fait alors l’hypothèse que l’automobiliste se laissant guider par les affordances (étape d’exploration de son environnement) va prendre la sortie la plus proche à un moment donné, c’est-à-dire la plus accessible dans l’espace. Toutefois ici encore, il faut différencier une accessibilité perceptive : l’affordance perçue la plus directement et une accessibilité motrice : l’affordance la plus directement à portée de l’outil ou du sujet sans outil. Ces niveaux d’accessibilité perceptive et motrice viendraient ainsi pondérer la valeur absolue d’une affordance pour lui donner une valeur relative selon la disposition de l’acteur ou de son outil à un moment donné. Nous obtenons ainsi un second niveau de hiérarchisation des affordances.

Tableau 2 : Valeurs absolues d’affordances des propriétés rattachées aux objets de la scène (figure 2) sur la base de leurs relations avec les caractéristiques de l’outil (bouteille d’oxygène)

	ATTRACTEURS			RÉPULSEURS			
	CHEMIN	PASSAGES		OBSTACLES			
	Rail Dans l'avion	Porte ouverte	Paroi transparente (avion)	Paroi Externe (avion)	Paroi Interne (avion)	Sol	Plafond
BOUTEILLE							
POSITION	1					1	1
ORIENTATION	1	1	1	1	1		
VOLUME		1	1		1		
FORME							
POIDS							
RESISTANCE				1	1	1	1
CONTACT							
RAILS							
POSITION	1						
ORIENTATION	1	1		1			
VOLUME							
FORME	1				1		

RESISTANCE	1			1	1		
CONTACT	1						
TOTAL	7	3	2	4	5	2	2

Nous sommes actuellement en train de mener des expérimentations sur la base d'environnements virtuels ou de téléopération pour valider le caractère prédictif de ce modèle sur l'activité d'exploration de l'individu. À ce niveau, il est important de souligner que le rôle primordial de l'affordance sur le comportement est envisagé tout spécialement dans le cadre de situations ou de phases d'exploration d'un environnement. Lors d'interactions répétées, il faudrait ajouter un facteur de fréquence de mise en œuvre de certains comportements dans le répertoire pour mettre en évidence le rôle de l'apprentissage sur la sélection automatique de ce qui serait alors une routine comportementale.

Enfin, nous testons des formalismes mathématiques pour modéliser le traitement des affordances (collaboration sur le thème du pilotage d'un voilier avec M. Parenthoën, ENIB, Brest), (voir Morineau, Chedmail, & Parenthoën, 2001).

5 CONCLUSION

Notre approche du concept d'affordance vise à modéliser un niveau singulier de contrôle cognitif de l'individu dans son adaptation à l'environnement, de manière à en extraire les apports directs et les limites. Ce contrôle cognitif concerne le rapport qui s'élabore entre un individu occupant un point de l'espace et disposant d'un ensemble de compétences sensori-motrices, et un ensemble de propriétés de l'environnement reliées aussi bien à des objets perceptibles qu'à l'environnement dans sa globalité (par exemple, le flux optique ou la gravité). Cette régulation est tout particulièrement observable selon nous, lorsque le sujet explore à certains moments l'espace environnant dans son activité cognitive. Il s'agit des situations par exemple, de Contrôle de Trafic Aérien, où l'exploration d'informations se renouvelant sans cesse est critique, ou bien encore lorsque l'opérateur doit orienter une pièce mécanique à déplacer dans un espace de synthèse, ou bien encore lorsqu'il analyse son environnement pour réguler la trajectoire d'un voilier de compétition ou d'un robot. Le contrôle cognitif basé sur des affordances serait également prégnant à un niveau plus macroscopique, lorsque l'individu découvre un environnement nouveau (immersion pour la première fois dans un environnement virtuel).

Nous pensons que l'étude précise de ces étapes d'exploration est importante, car il s'agit de phases qui vont configurer les informations de base sur lesquelles l'individu va fonder une analyse, qui est elle plutôt symbolique, de la situation. Il pourra alors planifier des buts, résoudre des problèmes ou bien acquérir des habiletés. Toutefois, il ne s'agit que d'un niveau de contrôle parmi d'autres, disposant d'avantages et d'inconvénients. L'avantage est une réponse immédiatement adaptée aux aspects de l'environnement auquel l'individu fait face et cela à un coût réduit en ressources attentionnelles - si naturellement cette adaptation fonctionne correctement. L'inconvénient principal réside dans le caractère précaire de cette adaptation si l'environnement ou bien l'individu lui-même évolue, et d'autre part, dans le risque que présentent des apparences trompeuses (par exemple, un chemin est en fait une impasse). Pour dépasser ces inconvénients, une approche symbolique classique permet de faire apparaître que l'être humain est en mesure de développer des schémas de connaissances permettant de prendre en considération l'expérience passée et des représentations anticipatrices vis-à-vis notamment de l'évolution de l'environnement (par exemple, le point de conflit des avions dans le contrôle de trafic aérien). D'autre part, il dispose d'une connaissance de lui-même, de ses capacités à discerner les pièges de l'adaptation immédiate (notion de méta-connaissance), (Hoc et Amalberti, 1995).

Dans ce cadre, l'objectif de développer des interfaces écologiques permettant une meilleure interaction Homme-Machine prend une place mieux circonscrite. Comme l'indiquent Flach et Bennett (1996), il ne s'agit pas de concevoir une interface ou un système automatique comme le reflet du fonctionnement cognitif de l'opérateur ou d'un expert dans la tâche. L'interface écologique affiche le champ des possibles ouvert à l'action de l'opérateur dans le domaine de travail et cela de manière intuitive. L'interface écologique peut alors être vue comme un contexte cognitif, élaborée à partir

d'un ensemble d'affordances facilement signifiantes pour l'action de l'opérateur et servant de base stable pour la mise en œuvre de manière vicariante, d'intentions, de prise de décision, de résolution de problèmes, de plan d'actions et d'apprentissage.

REMERCIEMENTS

Ces travaux reçoivent un soutien financier d'une part, du Ministère de la Recherche, ACI COGNITIVE 2000 et d'autre part, du Centre d'Etude de la Navigation Aérienne pour ce qui est des travaux sur le contrôle de trafic aérien. L'auteur remercie très sincèrement, J.M. Hoc (IRCCyN, PsyCoTec), E. Colle, Y. Rybarczyk (LPC, CEMIF, Evry), P. Chedmail & M. Guibert (IRCCyN, Nantes), M. Parenthoën (ENIB, Brest) pour leur collaboration aux travaux présentés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bideaud, J., & Lautrey, J. (1983). De la résolution empirique à la résolution logique du problème d'inclusion : évolution des réponses en fonction de l'âge et des situations expérimentales. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 295-326.

Boudes, N., & Cellier, J.M. (1996). Functional biases in anticipation : the case of air traffic control. Paper presented at the 1st International Conference on Applied Ergonomics. Istanbul : May.

Christoffersen, K., Hunter, C. N., & Vicente, K. J. (1998). A longitudinal study of the effects of ecological interface design on deep knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, 48, 729-762.

Chedmail, P., & Le Roy, C. (1999a). A Distributed Approach for Accessibility and Maintainability Check with a Manikin. *DAC-8677, ASME Design Engineering Technical Conferences*, Las Vegas, Nevada, Sept. 12-15.

Cronin, P. (1997). *Report on the application of Virtual Reality to Education*. Report, HCRC, University of Edinburgh.

Effken, J. A., Kim, N-G, Shaw, R. E. (1997). Making the constraints visible : testing the ecological approach to interface design. *Ergonomics*, 40, 1-27.

Flach, J. M. (1990). The Ecology of Human-Machine Systems I: Introduction. *Ecological Psychology*, 2, 191-205.

Flach, J. M., & Bennett, K. B. (1996). A Theoretical Framework for Representational Design. In R. Parasuraman & M. Mouloua (eds.) *Automation and human performance : Theory and application* (pp. 65-87). Mahwah, N.J. : Erlbaum.

Gibson, J., J. (1958). Visually controlled locomotion and visual orientation in animals. *British Journal of Psychology*, 49, 182-194.

Gibson, J., J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. London: Lawrence Erlbaum Associates.

Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1995). Diagnosis: Some theoretical questions raised by applied research. *Current Psychology of Cognition*, 14, 73-101

- Hoc, J.-M., Morineau, T., & Denecker, P. (2000). *Gestion de l'espace problème et organisation temporelle de l'activité de contrôleurs aériens professionnels sur simulateur*. Rapport technique. Athis-Mons, F: CENA.
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Lahlou, S. (2000). Attracteurs cognitifs et travail de bureau. *Intellectica*, 30,
- Lewin, K. (1936). *Principles of topological psychology*. New York: McGraw-Hill.
- Mark, L., S., & Vogege, D. (1987). *A biodynamic basis for perceived categories of action: A study of sitting and stair climbing*. *Journal of Motor Behavior*, 19, 367-384.
- Morineau, T. (1996). *Adaptation cognitive à un environnement virtuel, lors de premières immersions*. Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
- Morineau, T. (2000a). Context effect on problem solving during a first immersion in a Virtual Environment. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 19, 533-555.
- Morineau, T. (2000b). Approche de la discontinuité dans l'activité de contrôle d'un processus continu : Illustration dans le domaine du contrôle de trafic aérien. *Actes de la conférence ERGO-IHM* (pp. 298-302), Biarritz : oct.
- Morineau, T. (2000c). Time-To-Collision and Action Sequencing on Aircraft Conflicts in Air Traffic Control. In P. Wright, S. Dekker, & C.P. Warren (Eds.) *"Confronting Reality", Proceedings of the Tenth European Conference on Cognitive Ergonomics, ECCE'10* (pp. 186-192). Linköping Sweden : Aug.
- Morineau, T., Chedmail P., & Parenthoën M., (2001). An affordance-based model to support simulation in Virtual Environment. *The Third Virtual Reality International Conference*, Laval Virtual 2001, Laval, F : 17-18 May.
- Norman, D.A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action: willed and automatic control of behavior*. Center for Human Information Processing, Technical Report, 99.
- Padmoss, P., & Milders, M. V. (1992). Quality Criteria for Simulator Images : A Literature Review. *Human Factors*, 34, 727-748.
- Paillard, J. (1994). L'intégration sensori-motrice et idéo-motrice. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds). *Traité de Psychologie expérimentale*. Tome 1, Paris : PUF.
- Pejtersen, A., M. & Rasmussen, J. (1997). Ecological Information Systems and Support of Learning : Coupling Work Domain Information to User Characteristics. In M. Helander, T. K. Landauer, P. Prabhu (eds.) *Handbook of Human-Computer Interaction* (pp. 316-346). Second edition, North Holland : Elsevier Science.
- Piaget, J. (1946). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'Enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Szeminska, A. (1967). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Reed, E. S. (1993). The Intention to Use a Specific Affordance : A conceptual Framework for Psychology. In R. H. Wozniak & K. Fischer (eds.) *Development in context, acting and thinking in specific environments* (pp. 45-75). Lawrence Erlbaum.

Spence, R. (1999). A framework for navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51, 919-945.

Stroffregen, T., A., Gorday, K.,M., Sheng, Y-Y., & Flynn, S., B. (1999). Perceiving Affordances for Another Person's Actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 120-136.

Vicente, K. J., & Rasmussen, J. (1990). The Ecology of Human-Machine Systems II : Mediating " Direct Perception " in Complex Work Domains. *Ecological Psychology*, 2, 207-249.

Comment traduire le degré d'urgence D'une alarme sonore non vocale ?

A. Guillaume,
L. Pellicieux, V. Chastres
Département de Sciences Cognitives
IMASSA BP 73
91223 BRETIGNY sur ORGE Cedex
aguillaume@imassa.fr

et **C. Drake**
Laboratoire de Psychologie Expérimentale
Institut de Psychologie Université Paris V
71, avenue Edouard Vaillant
92774 BOULOGNE-BILLANCOURT
drake@idf.ext.jussieu.fr

RESUME

Selon Edworthy et Hellier, il est possible de classer des signaux sonores en fonction de la perception de leur degré d'urgence en se basant sur leurs caractéristiques acoustiques. Ces résultats ne sont pas retrouvés lorsque les auditeurs sont sous une forte charge de travail. Pour mieux comprendre les processus cognitifs impliqués, deux expérimentations sont réalisées : l'une avec des signaux construits selon les indications d'Edworthy, l'autre avec des alarmes réelles enregistrées sur les avions militaires. Un premier groupe d'auditeurs détermine pour chaque paire de séquences quel signal est le plus urgent et quantifie la différence. Un deuxième groupe quantifie uniquement la différence perçue entre les séquences sans notion d'urgence. Les résultats obtenus par analyse multidimensionnelle montrent que, pour les signaux construits, la distribution spatiale des séquences est très proche dans les deux groupes ce qui n'est pas le cas pour les signaux enregistrés. Ces observations nous amènent à considérer des processus cognitifs complexes faisant appel en particulier au vécu du sujet.

MOTS-CLES

Perception auditive-alarme sonore-degré d'urgence-caractéristiques acoustiques-processus cognitifs

1 INTRODUCTION

Le concept d'alarme ne peut se concevoir en dehors de sa justification et de son environnement sonore. Ainsi une alarme anti-effraction dans une maison peut être excessivement forte et désagréable puisque le but de cette alarme est de provoquer la fuite. Dans le milieu aéronautique, lors de la survenue d'un dysfonctionnement, l'alarme doit avoir un effet distracteur par rapport à la tâche principale afin d'attirer l'attention du pilote sans générer, cependant, de trop fortes perturbations et, de plus, constituer une source d'informations pertinentes. Deux types d'informations peuvent être transmises :

- une indication sur la gravité du dysfonctionnement constaté qui pourrait être traduite par des variations des caractéristiques de l'alarme modulant la perception du degré de l'urgence du pilote.
- une indication sur la cause originelle de l'alarme grâce à une iconographie sonore adaptée.

Lorsqu'une alarme sonore est adaptée, elle augmente la probabilité d'une réaction efficace de l'opérateur aux conditions d'urgence et diminue le temps de réaction. Cependant dans de nombreux cas le degré de l'urgence perçue d'une alarme n'est pas adapté au degré d'urgence réel. Le principe "better safe than sorry" (Patterson, 1990) rend ces alarmes plutôt nuisibles qu'utiles. Les problèmes

constatés par Patterson, Edworthy, Shailer, Lower et Wheeler (1986), Sorkin, Kantowitz et Kantowitz (1988) trouvent leur origine dans le fait que les alarmes ont été ajoutées au fur et à mesure des besoins et n'ont pas fait l'objet d'une conception globale et réfléchie. Or en aéronautique, les alarmes sonores trouvent leur justification dans le fait que l'audition est un sens d'alerte primaire. Elles sont efficaces dans l'angle solide 4π stéradians de l'espace quelque soit la position de la tête et/ou la direction du regard. Elles présentent des avantages supplémentaires dans le domaine de l'aéronautique militaire :

- leur technologie ne réclame pas d'espace sur le tableau de bord déjà surchargé de l'aéronef.
- de façon encore plus spécifique, dans le domaine militaire, elles fournissent des entrées sensorielles moins altérées que les entrées visuelles lors de l'exposition des pilotes à l'hypoxie ou aux forces d'accélération +Gz (dirigées dans l'axe tête-siège).

Alors que la mise en place des alarmes était conjoncturelle et sans réflexion spécifique tant sur les caractéristiques propres de chaque alarme que sur leur intégration en tant que système d'alarmes, Patterson (1990) propose de résoudre les problèmes d'adaptation des alarmes avec leur fonction en concevant une alarme ayant une hiérarchie structurelle : l'unité de base est l'impulsion d'une durée de 100 à 300 ms. Cette impulsion est répétée plusieurs fois à différentes hauteurs et/ou à différentes intensités, selon différents tempi. L'ensemble composé de plusieurs impulsions successives constitue la bouffée sonore. Elle dure approximativement 2 s et ressemble à une mélodie atonale rythmique. La combinaison de ces bouffées forme l'alarme complète. Cette dernière ménage des silences entre les bouffées de façon à laisser à l'équipage la possibilité de communiquer et de réagir de façon adaptée.

En ce qui concerne le contenu spectral et l'intensité des alarmes, ils sont choisis de façon à éviter le masquage par les fréquences dominantes des cabines de pilotage. Pour obtenir une audition fiable de l'alarme (100% de détection), il est nécessaire qu'au moins 4 composants spectraux de l'alarme soient à 15 dB au-dessus du seuil d'audition de chacun d'eux (Patterson, 1990). Le contenu spectral et l'intensité des alarmes déterminés, il s'agit de rechercher s'il est possible de définir des alarmes dont les caractéristiques acoustiques peuvent être reliées à la perception d'un certain degré de l'urgence par les opérateurs. Edworthy, Loxley et Dennis (1991) et Hellier, Edworthy et Dennis (1993) cherchent alors à définir les caractéristiques physiques des séquences qui permettent de traduire différents degrés d'urgence. Ils proposent des séquences qui sont d'autant plus urgentes que la hauteur est élevée, le tempo rapide et les harmoniques irrégulières. Cependant, Burt, Bartolome, Burdette et Comstock (1995) remarquent que la perception du degré de l'urgence de séquences synthétisées selon les indications d'Edworthy et coll. (1991) et Hellier et coll. (1993) résiste très mal à une charge de travail importante et ils mettent en cause la conception de ces dernières.

Les buts de cette étude sont de confirmer les résultats d'Edworthy et Hellier par une analyse multidimensionnelle et d'essayer de comprendre les raisons pour lesquelles les critères permettant de définir le degré d'urgence ne restent pas pertinents lorsque l'auditeur est sous forte charge de travail. Pour cela, deux expériences sont menées en parallèle : l'une sur des signaux créés selon les indications de Hellier afin de traduire une perception de l'urgence croissante, l'autre sur des alarmes réelles enregistrées dans les aéronefs militaires.

2 PREMIERE EXPERIENCE

2.1. Méthodologie

La première expérience est réalisée dans le but de vérifier les résultats de Hellier et coll. (1993) par une méthode d'analyse multidimensionnelle. Les séquences créées par Hellier de façon à traduire une perception de l'urgence croissante sont synthétisées et sont présentées par paires. Les auditeurs doivent réaliser une tâche de choix forcé et une tâche de jugement de dissemblance concernant leur perception de l'urgence des séquences présentées. Cette étude est réalisée afin d'appréhender les principales dimensions qui sous-tendent la perception de degré d'urgence à partir de séquences synthétiques. L'intérêt de l'approche multidimensionnelle est que nous ne faisons aucune hypothèse a priori ni sur le nombre ni sur la nature des dimensions qui sous-tendent la représentation perceptive employée par les sujets pour comparer les stimuli.

Nos hypothèses sont que nous devrions retrouver un classement des séquences proche du classement théorique de Hellier lors de la tâche de choix forcé. L'analyse de proximité réalisée à partir des réponses obtenues dans la tâche de jugement de dissemblance devrait montrer que les facteurs influençant le plus la perception de l'urgence selon Hellier tels que la hauteur, le tempo, le degré d'harmonicité sont fortement corrélés avec la première dimension de l'espace décrivant les réponses des sujets. D'autres facteurs moins prégnants vis à vis de la perception de l'urgence tel que le contour de hauteur ou la durée de l'attaque ou de l'extinction pourraient aussi participer de façon non négligeable à la définition de ces dimensions.

Une seconde expérience est réalisée sur un autre groupe d'auditeurs avec les mêmes stimuli. Dans ce cas, la tâche est un jugement de dissemblance et les notions d'urgence ou d'alarme ne sont pas mentionnées. L'analyse de proximité permet de représenter l'espace perceptuel des auditeurs, à priori, fortement lié aux propriétés acoustiques des séquences. En comparant les espaces perceptuels obtenus avec les deux groupes, la part des processus liés aux propriétés acoustiques peut être distinguée de celle faisant intervenir des processus cognitifs de plus haut niveau. Les résultats attendus sont que l'analyse de proximité montre que les réponses des sujets sont liées aux caractéristiques acoustiques des séquences et que la notion de l'urgence est distribuée sur un plus grand nombre de dimensions de l'espace décrivant les réponses des auditeurs.

2.2. Les stimuli

Les stimuli sont les treize séquences définies par Hellier et coll. lors de la phase de synthèse des expérimentations. Ces signaux de 1 à 13 sont conçus suivant ses principes théoriques afin de provoquer chez les auditeurs une perception décroissante de l'urgence. Cet ordre définit le classement théorique des signaux. Ils ont été créés grâce au logiciel Quack. Les stimuli ont tous une durée d'environ deux secondes (moyenne de 2,105 secondes comprise entre 1,91 et 2,317 secondes) et ont été égalisés en sonie à l'issue de leur synthèse. Ces stimuli sont présentés par paires successivement dans le temps. Toutes les paires possibles sont réalisées $((13 \times 12) / 2 = 78 \text{ paires})$ et sont entendues dans les deux ordres possibles soient au total 156 paires de séquences $((13 \times 12) / 2 \times 2)$.

2.3. Les sujets

Deux groupes expérimentaux composés de sujets différents ont participé chacun à une phase différente de cette expérimentation. Le premier groupe est composé de 23 auditeurs. Les sujets sont âgés de 34,6 ans en moyenne (23 ans à 54 ans). Tous les sujets ont respecté la consigne. Le deuxième groupe est composé de 26 auditeurs. Les sujets sont âgés de 34,8 ans en moyenne (17 ans à 56 ans). Deux sujets n'ayant pas respecté la consigne, leurs performances n'ont pas été prises en considération dans l'analyse des résultats. Un audiogramme normal était requis pour pouvoir participer aux expérimentations. Les sujets étaient d'origine professionnelle très variée (étudiants, médecins, instituteurs, techniciens...).

2.4. Les méthodes d'analyse

L'analyse de proximité est un outil mathématique qui permet de représenter sur un plan ou un espace les similarités trouvées expérimentalement. Elle n'est pas tant une procédure exacte, qu'une manière de réorganiser des objets, afin de parvenir à une configuration qui approche au mieux les distances observées (Schiffman, Reynolds et Young, 1981). Il s'agit d'organiser les séquences en fonction des dissimilarités exprimées par les réponses des sujets. La structure géométrique obtenue est interprétée comme le reflet des qualités de perception mises en œuvre par les auditeurs ou comme le reflet de la structure des représentations mentales qui leur permettent de faire des comparaisons méthodiques. La régression multiple incrémentielle ascendante permet ensuite d'établir des relations entre les coordonnées des séquences dans cet espace et les caractéristiques acoustiques des séquences. Sur le plan numérique, il s'agit d'ajuster une droite à un ensemble de points. Cet ajustement est réalisé selon le principe d'une estimation des moindres carrés.

2.5. Les résultats

Résultats obtenus avec le premier groupe d'auditeurs concernant la perception de l'urgence

Pour chaque séquence, on comptabilise le nombre de fois où il a été choisi comme le plus urgent de la paire présentée. Cela permet d'obtenir un classement "expérimental" des alarmes. La corrélation entre le classement expérimental et le classement théorique est très forte ($r = 0,94$, $p < 0,0001$). Il est donc possible de classer les séquences selon trois catégories : peu urgent, d'urgence modérée et très urgent.

Les séquences sont réparties de façon pertinente par l'analyse de proximité dans un espace à 3 dimensions. Sur le premier axe, les séquences très urgentes (sons 1, 2 et 5) s'opposent aux séquences peu urgentes (sons 9, 10, 11, 12 et 13). La corrélation entre les coordonnées des séquences sur l'axe 1 et le classement théorique des séquences est très bonne ($r = 0,912$, $p < 0,0001$) de même que celle avec le classement expérimental des auditeurs ($r = 0,990$, $p < 0,0001$). L'axe 1 représente bien la perception de l'urgence. Nous regardons quels facteurs acoustiques des séquences permettent de traduire cette perception grâce à la régression multiple incrémentielle ascendante sur l'axe 1. L'équation s'écrit donc : $Y = -0,78 \text{ G.H.} + 0,397 \text{ Env.} + 0,424 \text{ R.H.} + 0,318 \text{ Tempo} - 1,022$

Quatre facteurs interviennent de façon significative dans l'équation de régression et permettent d'expliquer 94,8 % de la variance ($p < 0,0001$). Ce sont la gamme de hauteur (G.H.), l'enveloppe (Env.), la régularité harmonique (R.H.) et le tempo. On retrouve bien les résultats décrits par Hellier et coll. (1993) et Edworthy et coll. (1991).

Résultats obtenus avec le deuxième groupe d'auditeurs concernant les différences entre les séquences

L'analyse de proximité montre que les coordonnées des sons sur l'axe 1 décrivent quasiment parfaitement le classement théorique de Hellier et coll. (1993). Cela pourrait paraître étonnant étant donné que l'on demandait aux sujets de juger de différences entre les séquences sans qu'apparaisse la notion d'urgence dans les recommandations faites à ce groupe. Cependant, si l'on observe comment se répartissent les différentes caractéristiques acoustiques des séquences sur l'axe 1, on remarque qu'il apparaît une évolution assez régulière de l'ensemble d'entre elles le long de l'axe 1. Ainsi, la hauteur, la gamme de hauteur, le contour de hauteur et la répartition des harmoniques évoluent de façon relativement monotone le long de l'axe 1. Ces résultats seraient dus à la façon dont les treize séquences ont été conçues. Les sujets pourraient avoir établi leur jugement de dissemblance sur la notion de quantité d'information présente dans le signal sonore.

3 DEUXIEME EXPERIENCE

3.1. Méthodologie

La deuxième expérience est réalisée selon le même principe que la première mais avec des séquences qui sont des alarmes enregistrées dans les différents aéronefs militaires. Ces signaux beaucoup plus diversifiés que les séquences étudiées par Hellier permettent-ils de retrouver les résultats obtenus dans la première expérience ? Le but de cette approche est aussi d'élargir le champ de recherche et d'essayer d'identifier d'autres stratégies intervenant dans la perception de l'urgence.

Les hypothèses que nous formulons sont que l'on devrait retrouver des résultats comparables à ceux de Hellier et de l'expérience précédente au moins en ce qui concerne les principaux facteurs tels que la hauteur et le tempo par exemple. Cela montrerait la résistance de ces facteurs pour traduire la perception de l'urgence. La difficulté réside dans le fait qu'il est difficile de définir des paramètres permettant de décrire l'ensemble des alarmes du fait de leur disparité. Ainsi elles sont si différentes que pour certaines d'entre elles (les alarmes continues) la notion de tempo n'a pas de sens. D'autres facteurs peuvent influencer la perception de l'urgence selon un mode non abordé par Edworthy ou Hellier, à savoir l'expérience vécue de l'auditeur.

3.2. Les stimuli

Les stimuli sont représentés par trente-cinq alarmes qui ont été enregistrées dans les différents aéronaves de l'Armée de l'Air. Leur durée est de 4,1 s en moyenne. Elle est comprise entre 3,98 s et 4,05 s pour 31 alarmes. Pour des raisons techniques, la durée de quatre alarmes diffère de ces valeurs : 3,455 s ; 4,41 s ; 5,211 s ; 6,34 s. Ces séquences sont très disparates et on distingue globalement trois types de séquences : les séquences continues, les séquences alternées et les séquences discontinues ou intermittentes. Ces stimuli sont présentés par paires successivement dans le temps. Toutes les paires possibles sont réalisées ($(35 \times 34) / 2 = 595$ paires).

3.3. Les sujets

Deux groupes expérimentaux composés de sujets différents ont participé chacun à une phase différente de cette expérimentation. Le premier groupe est composé de 25 auditeurs. Les sujets sont âgés de 34,8 ans en moyenne (19 ans à 56 ans). Le deuxième groupe est composé de 20 auditeurs de moyenne d'âge 30 ans (23 ans à 55 ans). Un audiogramme normal était requis pour pouvoir participer aux expérimentations. Les sujets étaient d'origine professionnelle très variée.

3.4. Les méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyse sont équivalentes à celles utilisées dans la première expérience.

3.5. Les résultats

Il est intéressant de noter que les choix des auditeurs sont cohérents entre eux pour la plupart des alarmes alors qu'il s'agit de séquences très disparates en comparaison de ceux présentés dans l'expérience précédente. L'analyse de proximité permet de distribuer les points correspondant aux réponses des auditeurs dans l'espace. On remarque que l'urgence est très bien représentée sur la première dimension et il est possible de classer ces alarmes selon trois catégories : peu urgentes, d'urgence modérée et très urgentes. Certaines séquences sont cependant jugées de façon très différente par les sujets. Il est à noter que les séquences alternées sont perçues comme nettement plus urgentes que les autres séquences. Ce classement ne peut pas s'expliquer complètement par leurs caractéristiques acoustiques. Ainsi la séquence 13 correspond à l'alternance de deux fréquences l'une à 795 Hz et l'autre à 985 Hz avec un tempo de 507 ms est au quatrième rang des séquences les plus urgentes, alors que le son 10 classé au 11^{ème} rang est un son intermittent présentant une fréquence de 2750 Hz et un tempo de 233 ms. Il semble bien que ce soit ce phénomène d'alternance qui soit déterminant. Une hypothèse permettant d'expliquer ce phénomène est que nous entendons régulièrement dans notre environnement quotidien ou diffusées par les médias des alarmes qui présentent justement une alternance de deux fréquences. Cette dernière pourrait en quelque sorte représenter un prototype des alarmes. Ainsi l'environnement culturel du sujet modèlerait son concept d'alarme. Une autre façon d'expliquer ce résultat est qu'un stimulus nouveau attire plus l'attention qu'un bruit ancien car il est porteur de plus d'informations. Ainsi l'alternance de deux sons attirerait plus l'attention des sujets qu'un son continu ou que le même son perçu de façon intermittente. Ce phénomène a été décrit par Bregman (1990). L'auditeur s'habitue à un signal continu et relâche son attention. Lorsqu'un bruit nouveau survient, l'attention auditive du sujet se déplace vers ce bruit.

4 DISCUSSION

L'analyse multidimensionnelle montre que les distributions spatiales obtenues dans les deux groupes pour les sons synthétisés selon les critères de Hellier sont similaires. La question est alors de comprendre à partir de quels critères effectifs les auditeurs ont porté leur jugement. Hellier et coll.

(1993) ont construit ces séquences en considérant que plus les signaux étaient imprévisibles et plus la perception de l'urgence était importante. Dans la pratique, ce concept d'imprévisibilité se traduit par une évolution parallèle de la quantité d'information contenue dans les signaux. Ainsi, ils sont construits de telle façon que plus le niveau théorique d'urgence est important, plus la quantité d'information véhiculée par le son est importante : hauteur élevée, tempo rapide, irrégularité harmonique, contour aléatoire. Ce résultat n'est pas retrouvé avec les alarmes enregistrées pour lesquelles un certain nombre de séquences sont classées comme non urgentes alors que leurs propriétés acoustiques auraient dû induire les auditeurs à les classer comme très urgentes. Ces observations nous amènent à considérer que des processus cognitifs complexes impliquant la mémoire à long terme et l'expérience de l'auditeur sont impliqués dans le jugement du degré d'urgence des sons présentés. L'approche réalisée par Edworthy permet de fournir des indices pour la fabrication des alarmes. Elle utilise des méthodes de psychophysique qui ont pour but d'établir une correspondance entre un continuum du domaine physique et le continuum correspondant du domaine sensoriel. Le domaine dans lequel elle évolue est trop restreint et doit être élargi. La perception de l'urgence est un domaine de la psychologie et impose l'existence d'une image mentale soumise à des influences des centres supérieurs. Une certaine culture collective véhicule la notion d'alarme et cette dernière est largement marquée par l'environnement quotidien, les médias et les jeux vidéo. L'alternance de hauteur dans les alarmes pourrait s'avérer constituer un prototype. Il est cependant nécessaire de parfaitement cibler la population à laquelle l'alarme s'adresse.

5 CONCLUSION

A l'issue de ce travail, il apparaît clairement qu'il est possible de classer des sons en fonction de la perception du degré d'urgence. Cependant, les critères de réalisation de ce classement sont de deux ordres différents : les premiers correspondraient à des propriétés acoustiques intrinsèques à la séquence appelées invariants perceptifs ; les seconds seraient représentés par des particularités dépendantes de l'expérience vécue du sujet et éventuellement par la mise en jeu de phénomènes attentionnels comme ceux décrits par Bregman (1990).

6 BIBLIOGRAPHIE

- Bregman, A.S.(Eds.). (1990). *Auditory scene analysis*. London : MIT Press.
- Burt, J.L., Bartolome, D.S., Burdette, D.W., & Comstock, J.R. (1995). A psychophysiological evaluation of the perceived urgency of auditory warning signals. *Ergonomics*, 38, 11, 2327-2340.
- Doll, T.J., & Folds, D.J. (1986). Auditory signals in military aircraft : ergonomics principles versus practice. *Applied Ergonomics*, 17, 4, 257-264.
- Edworthy, J., Loxley, S., & Dennis, L. (1991). Improving auditory warning design : relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human Factors*, 33, 205-231.
- Hellier, E.J., Edworthy, J., & Dennis, I. (1993). Improving auditory warning design : quantifying and predicting the effects of different warning parameters on perceived urgency. *Human Factors*, 35, 4, 693-706.
- James, S.H. (1996). Audio warnings for military aircraft. *AGARD*, 596, 7.1-7.17.
- Patterson, R.D., Edworthy, J., Shailer, M.J., Lower, M.C., & Wheeler, P.D. (1986). Alarm sounds for medical equipment in intensive care areas and operative theatres. Report AC598.
- Patterson, R.D. (1990). Auditory warning sounds in the work environment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B 327, 485-492.
- Schiffman, S.S., Reynolds, M.L., & Young, F.W. (1981). *Introduction to multidimensional scaling. Theory, methods, and applications*. USA : Academic Press.
- Sorkin, R.D., Kantowitz, B.H., & Kantowitz, S.C. (1988). Likelihood alarm display. *Human Factors*, 30, 4, 445-459.

Session 3

Assistance

Assistance à la mise à quai de camions de transport routier en sécurité

Florence Hella, Jean-François Schouller

INRS. Laboratoire Ergonomie et Psychologie Appliquées à la Prévention. BP 27. 54501 Vandoeuvre cedex, France

florence.hella@inrs.fr

schouller@inrs.fr

Daniel Clément

CRAM Rhône-Alpes. 63 rue Costa de Beauregard. 73000 Chambéry, France

télécopie : 04 79 85 67 45

RÉSUMÉ

Les risques d'accidents lors de la mise à quai des camions semi-remorques en marche arrière sont en recrudescence dans les entreprises. Les dispositifs d'assistance à la visibilité lors du recul constituent l'un des systèmes envisagés pour aider les chauffeurs au cours de ces manœuvres. L'efficacité de ce type de dispositif, comme élément de prévention des accidents, repose sur une prise en compte des besoins des opérateurs et sur l'analyse des difficultés perceptives spécifiques qu'ils rencontrent lors des déplacements en marche arrière.

La première étape de ce travail a consisté à identifier les stratégies mises en œuvre par des conducteurs lors de différentes manœuvres de recul avec camions de marchandises.

Dans les étapes suivantes, ces stratégies ont été décomposées, comparées aux stratégies de formateurs à la conduite de poids lourds et ont permis d'établir une première procédure de réalisation de la manœuvre à enseigner aux conducteurs.

MOTS-CLÉS

Analyse de l'activité – Sécurité – Assistance à la manœuvre – Aménagement de la tâche - Véhicules de transport routier.

1 INTRODUCTION

1.1. Exposé du problème

L'activité de transport de marchandises par voie routière évolue dans le sens d'une recherche accrue de productivité qui se traduit par une augmentation du nombre de manœuvres de chargement et déchargement des camions de transport. On observe, depuis peu, une recrudescence des accidents survenant aux abords des quais de chargement et de déchargement et, plus généralement, dans l'emprise des entreprises.

Les salariés des entreprises de transport de marchandises sont exposés à des risques graves d'accidents du travail puisque, selon les statistiques françaises, ils ont 2 fois plus d'accidents avec arrêt de travail et 7 fois plus d'accidents mortels que la moyenne de l'ensemble des salariés (CNAMTS¹, 1999). Les accidents mortels qui touchent les conducteurs de poids lourds sont à 80% des accidents de la circulation (Ministère de l'équipement, du transport et des logements, 2000). Les accidents de moindre gravité se produisent surtout hors trafic : en 1997 on a enregistré 7 186 accidents avec arrêt de travail, 601 accidents avec Invalidité Permanente lors des manœuvres ou à l'arrêt du camion (CNAMTS, 1999).

1 CNAMTS : Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés

L'examen des données EPICEA² entre 1980 et 1999 (EPICEA, 1999) indique que 93 accidents mortels sont survenus hors circulation. Sur ces 93 accidents, 62 se sont produits lors du recul du camion de transport. Le coin arrière droit de la semi-remorque représente à lui seul le quart des chocs enregistrés sur le pourtour du véhicule routier.

La CRAM³ Rhône-Alpes, préoccupée par la fréquence et la gravité des accidents survenant hors circulation, a initié une démarche globale de prévention des risques liés aux manœuvres des camions. L'INRS a été sollicité pour contribuer à la prise en compte des besoins des salariés du transport dans la mise au point d'un système d'assistance aux manœuvres.

C'est principalement lors des manœuvres de mise à quai en marche arrière que les conducteurs mettent en péril le personnel qui évolue à pied autour de l'engin, ainsi que les autres conducteurs circulant dans le même espace de travail : routiers descendus de leur cabine, caristes, guides à la manœuvre, etc. (Rapport « Merlet », 1995).

La perception visuelle joue un rôle déterminant dans la connaissance de la forme d'un déplacement et le contrôle de la trajectoire (Pailhous & Cavallo, 1982, Warren & Kurtz, 1992). Or, à notre connaissance, peu d'études ont porté sur les exigences perceptives du déplacement en marche arrière à l'aide d'un véhicule.

1.2. Exigences perceptives des manœuvres en marche arrière

La particularité des manœuvres en marche arrière est que le corps du conducteur est orienté vers l'avant du véhicule, alors qu'il effectue un déplacement vers l'arrière. La privation de visibilité à l'aplomb de l'arrière d'un camion semi-remorque est totale. La prise d'information sur la direction du déplacement ne peut alors se faire que de deux façons :

- directement par le passage de la tête à la portière gauche de la cabine,
- indirectement par l'intermédiaire des rétroviseurs extérieurs droits ou gauches (le champ perçu (Stern, Ranney, Simmons et al., 1999) ne renseigne en fait le conducteur que sur les côtés du poids lourd).

La vision du champ arrière est donc généralement limitée aux différents sous-espaces constitués par les rétroviseurs latéraux. Ces sous-espaces doivent être organisés par le conducteur en une représentation coordonnée et rapide de l'ensemble du champ, car c'est dans cet espace restructuré que doit se faire la détection des stimulus d'alerte et l'appréhension des rapports spatiaux entre les différents éléments de l'environnement (Pailhous & Cavallo, 1982, Mestre, 1987).

L'articulation entre le tracteur et la semi-remorque contribue à réduire encore le champ visuel perçu lors du recul, en masquant et démasquant successivement les zones appréhendées dans les rétroviseurs (Southall, Tait et al., 1999).

Des systèmes d'aide au recul basés sur l'implantation d'une caméra à l'arrière du camion avec écran de visualisation dans l'habitacle permettent d'envisager l'assistance du conducteur dans la prise en compte des zones non visibles et apparaissent comme novateurs (CNAM, 1992, Fernandez, 1997). Certains travaux de l'INRETS⁴ montrent cependant, qu'en l'état actuel de la technologie, ils ne permettent pas de prendre en compte les besoins réels des conducteurs et ne sont pas adaptés à l'environnement dans lequel évoluent les camions (Germain & Blanchet, 1992, Muselli, 1996). Les gains annoncés de ce type de système se basent bien souvent sur des présupposés concernant le comportement du conducteur dans les situations envisagées et non sur une connaissance réelle de l'activité mise en jeu.

Malaterre et Saad (1986) proposent la définition suivante d'un dispositif d'aide : « Une aide à la conduite est un dispositif qui assiste le conducteur dans la réalisation d'une sous-tâche de conduite en en prenant en charge certains aspects ou en doublant certaines fonctions. Elle contribue à mieux atteindre, ou dans de meilleures conditions, ou de manière plus fiable, le résultat souhaité. » (p. 336). Cette définition souligne la notion de tâches sur lesquelles va porter l'assistance ainsi que les fonctions de l'opérateur avec lesquelles elle va interagir.

L'évaluation du bien-fondé d'une aide doit donc s'appuyer à la fois sur l'analyse de l'activité des conducteurs dans des situations de référence et la compréhension de leurs raisonnements sur la tâche

2 EPICEA : Etude de Prévention par Informatique des Comptes-rendus d'Enquêtes d'Accidents du travail

3 CRAM : Caisse Régionale d'Assurance Maladie

4 INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

(Specht & Spérandio, 1995, Kaplan, Dessaigne & Dejeammes, 1994) ainsi que sur une identification des objectifs visés par le système d'aide.

2 DEMARCHE DE L'ETUDE

2.1 De la compréhension de la tâche à la validation d'une procédure de mise à quai

L'analyse de l'activité des opérateurs n'est pas un but en soi, mais n'a d'intérêt que si elle permet de rendre possible l'établissement d'une sorte de cahier des charges pour un système d'aide efficace et d'assurer une sécurité accrue pour les opérateurs et l'entreprise.

Pour l'ergonome, l'analyse de l'activité dans un but d'application, vise à répondre à deux questions fondamentales, déjà formulées par Ombredane en 1955 (cité par Leplat, 1997) : « Qu'est-ce qu'il y a à faire et comment les travailleurs que l'on considère le font-ils ? ». Pour paraphraser Amalberti & Hoc (1998) on peut affirmer que : « Aucune analyse de l'activité ne peut se conduire sans modèle préalable de l'opérateur et sans objectifs définis » (p. 214).

Les conditions dans lesquelles le conducteur réalise les manœuvres de mise à quai en marche arrière sont encore mal connues (Muselli, 1996). On peut faire l'hypothèse que les exigences visuelles constituent l'un des éléments les plus importants pour le guidage du véhicule, souvent considéré comme un enchaînement d'activités motrices orientées par des prises d'information oculaires (Hella, Neboit & Laya, 1995). L'activité visuelle a donc été considérée comme un indicateur de la direction de l'attention du conducteur, qu'il fallait recueillir et synchroniser avec d'autres paramètres relatifs à la situation étudiée, pour comprendre les stratégies de réalisation de la tâche.

L'objectif général de l'étude était de contribuer à la réduction des difficultés perceptives liées à ce type de manœuvres. L'objectif particulier était de tenter de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les modes opératoires mis en œuvre pour réaliser la mise à quai ?
- Quelle est l'influence de différentes contraintes de la situation sur la réussite de cette manœuvre ?
- Quels sont les besoins réels des conducteurs ?

2.2. Méthode

Cette étude fait partie d'une démarche globale d'assistance à la réalisation des manœuvres de mise à quai en sécurité. Elle comportait quatre étapes décrites successivement.

1ère étape Comprendre les activités mises en jeu par le conducteur lors de la mise à quai

L'objectif de la présente analyse était d'étudier l'effet contraignant de certains paramètres de la situation sur les stratégies mises en œuvre par les conducteurs. A cet effet, les conducteurs ont été placés dans des situations où l'on faisait varier le sens de départ de la manœuvre (main courante⁵, contre-main⁶) et le positionnement par rapport à des remorques stationnées sur l'aire de mise à quai (à gauche, à droite ou entre deux remorques).

Cette première analyse s'est déroulée dans une entreprise de transports routiers de la région Rhône-Alpes. La situation de mise à quai était reproduite sur le parking de l'entreprise (figure 1) : une haie de clôture représentait le quai ; des chaînes mobiles réduisaient à 20 mètres l'espace disponible pour les manœuvres ; des remorques dételées représentaient les véhicules stationnés de part et d'autre de l'emplacement de mise à quai.

5 Main courante : tracteur « cassé » à gauche



6 Contre-main : tracteur « cassé » à droite





Figure 1 – Aire de mise à quai

Huit conducteurs masculins, âgés de 25 à 50 ans, avec 1 à 27 années d'ancienneté, ont été observés au volant d'un camion semi-remorque (longueur totale 16,5 m) dans six conditions différentes de mise à quai :

- main courante : mise à quai avec une remorque à droite, à gauche ou entre deux remorques ;
- contre-main : mise à quai avec une remorque à droite, à gauche ou entre deux remorques.

La « cassure » d'un attelage correspond à l'angle qui se forme entre le tracteur et la semi-remorque au cours de la manœuvre. Cet angle évolue tout au long de la marche arrière.

2ème étape : Comprendre le point de vue des formateurs sur les savoir-faire utiles à la manœuvre

L'inexpérience du conducteur est un facteur fréquemment invoqué dans la survenue des accidents de mise à quai de poids lourds (EPICEA). Avant de pouvoir agir sur ce niveau d'expérience, il paraissait important de chercher à comprendre et à formaliser les savoir-faire et l'expertise que les formateurs à la conduite transmettent à leurs stagiaires.

La seconde analyse a donc consisté à faire participer huit formateurs à la conduite, du même groupe de transport routier et possédant plus de 15 ans d'expérience de la conduite, à une journée divisée en quatre étapes :

- 1- Chaque formateur réalisait une mise à quai sur l'aire d'essai pour une mise en situation. Cette manœuvre était réalisée sur un espace de 20 mètres, en main courante afin de ne pas risquer de mettre les formateurs en situation d'échec et de blocage.
- 2- De retour en salle chacun devait représenter, sur un transparent, la trajectoire idéale de mise à quai entre deux camions, puis exposer sa production au groupe.
- 3- Suivait un débat où chacun indiquait les points de repères qu'il jugeait utiles à la réussite de cette manœuvre et participait à l'établissement de règles d'actions communes.
- 4- Enfin, les formateurs retournaient manœuvrer la semi-remorque pour mettre en pratique les règles énoncées. Chacun était successivement observé et évalué.

3ème étape : Développer une procédure d'assistance à la mise à quai

Le travail mené avec les formateurs et les données de l'analyse de l'activité de mise à quai nous ont conduits à nous demander quelle était l'habileté finale requise pour réussir la manœuvre en marche arrière et par quelle méthode cet objectif pouvait être atteint. Une démarche participative impliquant des formateurs à la conduite, une entreprise de transport et la CRAM, a permis d'engager une réflexion sur ce sujet.

Des difficultés perceptives et opératoires sont apparues, qui ont amené le groupe de travail à préconiser la mise en place d'aides différentes correspondant aux différentes phases de la manœuvre. Ainsi durant les premières phases, un mode opératoire spécifique incitant le conducteur à faire coïncider les zones regardées et les zones à risques a pu être dégagé et formalisé.

4ème étape : Evaluer l'efficacité de la procédure d'assistance

Cette étude a consisté à valider l'efficacité du mode opératoire dégagé par le groupe de travail dans une entreprise de transports routiers, où l'espace disponible pour la mise à quai était réduit à 15 mètres.

Neuf conducteurs masculins âgés de 26 à 46 ans, avec 1 à 25 années d'ancienneté, différents des conducteurs précédents, ont participé à l'expérimentation.

Après une phase de sensibilisation réalisée en salle, les conducteurs effectuaient 5 mises à quai en contre-main entre deux remorques, dans un espace d'évolution réduit à quinze mètres, selon trois modalités différentes :

- deux essais libres (E1, E2),
- deux essais de mise en application de la procédure, guidés par un formateur (E3, E4),
- un essai de mise en application de la procédure en autonomie quasi-complète (E5).

Une comparaison « avant-après » a été établie entre le deuxième essai libre (E2) et le dernier essai d'application de la procédure en autonomie (E5).

2.3. Paramètres choisis pour l'analyse de l'activité

Les informations recherchées au départ de cet ensemble d'études ont guidé le choix des paramètres caractéristiques de l'activité à enregistrer, à savoir :

- l'activité visuelle du conducteur,
- l'angle de cassure entre le tracteur et la semi-remorque,
- la trajectoire de mise à quai,
- d'autres paramètres relatifs à la réalisation de la manœuvre (durée, réussite, précision),
- l'observation vidéo du conducteur, de l'environnement.

Le déplacement du regard est, dans certaines limites, le reflet des choix que fait le conducteur en déplaçant son attention d'un objet de l'environnement à l'autre et forme donc le point de départ d'une action du conducteur sur cet environnement. Il nous renseigne alors sur certaines stratégies de réalisation de la tâche.

L'angle de cassure qui se forme entre la remorque et le tracteur constitue une indication des difficultés à réaliser la manœuvre dans la continuité et pourrait traduire indirectement les besoins en visibilité à l'arrière de la semi-remorque.

La caractérisation de la trajectoire de mise à quai permet de connaître l'utilisation, par les conducteurs, de l'espace de manœuvre disponible.

2.4. Matériel

Les analyses détaillées de cette étude ont pu être réalisées grâce à la centrale d'acquisition CAPTIV développée par/pour l'INRS (Martin, Brand & Servais, 1999) qui permet d'acquérir, de synchroniser et de traiter sur une même base de temps :

- des séquences vidéo filmées à l'extérieur depuis le camion ou à l'intérieur en cabine,
- des signaux issus de capteurs (angle de cassure, enregistrement GPS⁷ de trajectoire),
- des informations saisies sur clavier (localisation du regard du conducteur).

L'angle de cassure entre la semi-remorque et le tracteur, a été mesuré par un capteur positionné le plus près possible de l'articulation entre les deux ensembles. L'indication délivrée par ce capteur permet, grâce à un calcul mathématique adapté, de connaître la valeur de cet angle à tout moment.

Pour caractériser la trajectoire de mise à quai, l'utilisation d'un système GPS a permis d'enregistrer en continu le déplacement d'un point de la semi-remorque du camion manœuvrant sur l'aire d'essai.

La localisation du regard du conducteur a été enregistrée à l'aide d'un clavier comportemental à touches (figure 2) par un expérimentateur assis à la place passager du poste de conduite. Cette localisation était peu précise puisqu'elle se contentait d'identifier quatre zones différentes du champ de vision, associées à quatre touches du clavier (vitre gauche, rétroviseur gauche, pare-brise central, vitre et rétroviseurs droits). La durée de consultation d'une zone correspondait à la durée d'appui sur une touche (y compris le temps de réaction de l'expérimentateur).

Parallèlement, le chauffeur était filmé de face par une mini caméra vidéo fixée au tableau de bord.

⁷ GPS : Global Positioning System



Figure 2 – CAPTIV : centrale d'acquisition de données et clavier comportemental

D'autres paramètres ont été pris en compte, tels que la durée de la manœuvre et de ses principales phases, le nombre de tentatives pour réussir la mise à quai, la précision du placement final (écart en cm entre le(s) remorque(s) stationnées sur l'aire d'essai et la semi-remorque du camion qui manœuvre).

2.5. Analyse des données

L'analyse des données, effectuée en temps différé, a permis de « rejouer » la scène vidéo et de visualiser l'évolution dans le temps des grandeurs physiques mesurées et des paramètres d'observation, de façon parfaitement synchrone.

Les variables analysées pour caractériser l'exploration visuelle de l'environnement par le conducteur étaient les suivantes :

- répartition des consultations sur quatre zones de l'environnement,
- durée des regards sur ces zones,
- nombre des regards.

L'angle de « cassure » entre la remorque et le tracteur était mesuré en degré. La trajectoire de l'arrière de la semi-remorque, après diverses transformations spatiales et informatiques, a pu être représentée graphiquement pour chaque conducteur dans un système coordonné. Celle-ci a été enregistrée avant et après l'application de la procédure d'assistance à la mise à quai (quatrième étude), afin de pouvoir évaluer les bénéfices de cette procédure sur l'utilisation de l'espace de manœuvre.

Des entretiens avec les conducteurs complétaient ces analyses : en fin d'essais, chaque conducteur était interrogé sur les risques de la manœuvre et sur les points de repères utilisés. Il leur était demandé également de tracer sur un papier quadrillé la trajectoire idéale de mise à quai du camion telle qu'ils se la représentaient.

Des analyses de variance et des tests non paramétriques ont été appliqués aux données.

3 PRINCIPAUX RESULTATS

3.1. Modes opératoires spontanés des conducteurs et contraintes perceptives

L'analyse détaillée des modes opératoires des conducteurs a permis de décrire l'enchaînement des actions amenant à réaliser la mise à quai et d'objectiver l'effet contraignant des différents paramètres de la situation.

L'observation chronologique montre que les conducteurs effectuent la manœuvre en trois phases :

- une phase d'approche en marche avant, au cours de laquelle le conducteur avance à faible vitesse, visualise l'emplacement où il doit s'insérer et évalue les contraintes de la situation. La prise d'information visuelle se fait essentiellement à travers le pare-brise et les vitres latérales. Le conducteur choisit son point d'arrêt et la cassure de son attelage en prévision de sa trajectoire de recul.

- Une phase de positionnement où il met en œuvre une trajectoire de recul en fonction du placement choisi dans la phase précédente et en s'appuyant sur les points de repères saisis dans l'environnement ou dans les rétroviseurs. De la position de l'attelage à l'issue de cette phase, plutôt rapide (de 0,3 à 0,6 minutes), va dépendre la réussite de la phase suivante d'entrée dans l'emplacement.

- Une phase d'entrée dans l'emplacement en marche arrière qui consiste à insérer l'arrière de la semi-remorque dans l'emplacement sélectionné, tout en tenant compte de l'espace disponible, du positionnement des remorques stationnées de chaque côté et de la présence éventuelle de personnel à pied ou d'autres mobiles. L'entrée dans l'emplacement, étroitement liée au placement adopté en phase précédente, est globalement plus lente (1,2 à 2,2 minutes) et exige souvent plusieurs tentatives. Sans informations visuelles directes sur l'arrière du champ, le conducteur n'a accès qu'aux repères saisis dans les rétroviseurs.

Bien que ces trois phases paraissent d'égale importance pour la réussite de la manœuvre, nous avons centré notre analyse sur les deux phases de recul où les obstacles visuels empêchent le conducteur de prélever toutes les informations utiles au guidage du véhicule et à la sécurité de l'environnement.

L'activité visuelle en phases de recul

Les durées totales de consultation sur les quatre sources d'information considérées ont été transformées en pourcentages calculés sur la durée totale de l'ensemble des essais.

L'effet de la « main » de départ de la manœuvre (main courante, contre-main) a été analysé séparément pour les deux phases de recul (positionnement, entrée dans l'emplacement). Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Main courante	Portière gauche	Rétro gauche	Pare brise	Rétros droits
Positionnement	64%	30%	0	6%
Entrée	28%	42%	11%	19%
Contre-main	Portière gauche	Rétro gauche	Pare brise	Rétros droits
Positionnement	0	4%	2%	94%
Entrée	0	28%	0	72%

Tableau 1 - Durées de consultation (en pourcentage) sur chaque zone d'information en fonction de la « main » de départ et de la phase de recul pour 8 conducteurs

Ce tableau révèle que les durées de consultation sont longues sur les rétroviseurs droits en contre-main, quelle que soit la phase de recul, ($F_{(3,11)} = 21,7$; $P < 0,005$: rétros droits > vitre gauche = pare-brise = rétro gauche) alors que, pour les conducteurs, le danger potentiel lié à la cassure du tracteur se situe surtout sur la gauche de l'ensemble routier.

Du fait du sens de cassure de l'attelage en contre-main et de la position gauche du siège conducteur, les informations recueillies dans les rétroviseurs droits représentent les seules informations exploitables pour guider la manœuvre.

Le nombre moyen de consultations dans les rétroviseurs est significativement plus important que dans les autres zones de l'environnement, mais cet effet est le même quelle que soit la « main » de départ de la manœuvre :

- rétroviseur gauche en main courante : ($F_{(3,11)} = 39,03$; $P < 0,001$),
- rétroviseur droit en contre main : ($F_{(3,11)} = 32,3$; $P < 0,001$).

La surveillance des rétroviseurs, même très brève (simples coups d'œil), semble particulièrement importante au conducteur pour contrôler qu'aucun changement de situation n'est intervenu dans l'environnement depuis la dernière prise d'information.

Evolution de l'angle de cassure en marche arrière

L'angle de cassure de l'attelage routier a été mesuré en deux points de chaque phase de recul :

- 1- au départ de la phase de positionnement,
- 2- au passage de la ligne de parking.

Les données concernant l'angle de cassure moyen, calculé sur les 8 conducteurs sont présentées dans le tableau 2.

Main courante	Début du positionnement	15°
	Sur la ligne de parking	19°
Contre main	Début du positionnement	10°
	Sur la ligne de parking	26°

Tableau 2 - Angle de cassure moyen en degrés selon la « main » de départ et le point de mesure

On observe, une augmentation significative de la cassure entre le début du positionnement et d'entrée dans l'emplacement en contre-main ($Z = 3,1$; $\alpha = 0,01$). Le mouvement de la semi-remorque a pour effet d'occulter fortement le champ visuel arrière droit. Les conducteurs agissent donc par tâtonnements successifs, sans pouvoir exercer vraiment de contrôle visuel sur leur trajectoire de recul, mais en utilisant des repères indirects.

Interrogés sur les repères visuels qui les guident, ils invoquent la partie basse du champ (arrière et côtés du camion, essieux arrières, marquages au sol lorsqu'ils existent). Les représentations graphiques réalisées par les conducteurs révèlent également une grande diversité dans les trajectoires de mise à quai, avec comme seul point commun de rechercher un redressement maximal de la remorque avant d'entamer la marche arrière.

Durées des manœuvres et nombre de tentatives

Le tableau 3 montre que la durée moyenne de manœuvre est toujours la plus longue entre deux obstacles (1,7 à 3,2 minutes). Cet effet est significatif en main courante ($F_{(2,23)} = 3,5$; $P < 0,05$) et en contre main ($F_{(2,23)} = 3,9$; $P < 0,05$).

	Obstacle à gauche	Entre 2 obstacles	Obstacle à droite
Main courante	1,1	1,7	1,2
Contre main	1,6	3,2	1,6

Tableau 3 - Durées moyennes de la manœuvre (en minutes) selon la position de l'obstacle pour 8 conducteurs

La mise à quai entre deux obstacles nécessite significativement plus de tentatives (2 à 4 en moyenne) que les autres situations (main courante : $F_{(2,23)} = 3,5$; $P < 0,05$; contre main : $F_{(2,23)} = 3,9$; $P < 0,05$).

Synthèse de l'analyse

L'ensemble de ces données montre que les principales difficultés apparaissent en contre-main entre la phase de positionnement et d'entrée dans l'emplacement entre deux remorques. Les consultations se concentrent sur les rétroviseurs droits, alors que la surveillance des zones à risques (porte-à-faux de la remorque) nécessiterait de porter plus d'attention à la gauche du poste de conduite.

Par ailleurs, les conducteurs ne parviennent pas à combiner un angle de cassure optimal de l'attelage et une vision utile dans les rétroviseurs droits. On observe, ainsi, une augmentation de la cassure entre les phases d'approche et d'entrée dans l'emplacement, ce qui a pour effet d'occulter fortement le champ arrière droit.

En marche arrière en contre-main, le conducteur doit diriger son attelage routier vers un but qu'il ne perçoit pas directement. Son activité principale va donc consister à comparer les informations saisies dans les rétroviseurs, à un moment donné, avec l'image mentale qu'il s'est construite de ce point précis de l'espace et, à chaque progression du véhicule, à réactualiser de façon dynamique sa représentation de l'environnement (Droulez & Berthoz, 1990). Cette situation l'amène à effectuer des opérations mentales complexes (rappel en mémoire de la succession des repères déjà croisés, anticipation des modifications spatiales à venir, estimation de distances, etc.) qui se concrétisent par des manœuvres pénibles (nombreux ajustements spatiaux, série de mouvements d'avance et de recul, cassure, etc.). On peut faire l'hypothèse que les informations délivrées par les rétroviseurs ne

constituent pas une aide suffisante, puisqu'elles ne permettent pas au conducteur de se positionner correctement en marche arrière.

3.2. Point de vue des formateurs sur les savoir-faire utiles à la manœuvre

Pour former un conducteur, il est nécessaire d'avoir une définition explicite des savoir-faire exigés en fin d'apprentissage. Or, il apparaît que ces objectifs pédagogiques ne sont pas clairement établis pour les formateurs à la conduite.

L'étude souligne d'abord de grandes divergences entre formateurs dans les modes opératoires de réalisation libre de la mise à quai en main courante.

De nombreuses disparités apparaissent également dans les reproductions graphiques qu'ils produisent : distances minimales d'approche des remorques stationnées ou de l'obstacle à 20 mètres, point de départ du braquage du volant, début de la marche arrière. Il a cependant été possible d'extraire de ces tracés deux types principaux de stratégies de mise à quai : une trajectoire en « U » et une trajectoire dite en « J » :

- la manœuvre en « U » a pour objectif de privilégier la vision directe (vitre gauche) lors de la phase d'approche en marche avant, en cassant ensuite fortement l'attelage pour entamer le positionnement,
- la manœuvre en « J » vise à minimiser cet angle de cassure pour conserver de la visibilité à l'arrière dans le rétroviseur gauche et reculer essentiellement au rétroviseur.

A l'observation sur le terrain, l'application de la trajectoire décidée en commun, en salle, n'est pas respectée intégralement. Le relevé des distances de passage entre les roues-avant du tracteur de la semi-remorque et différents éléments de l'environnement fait apparaître d'importantes différences inter-individuelles (figure 3).

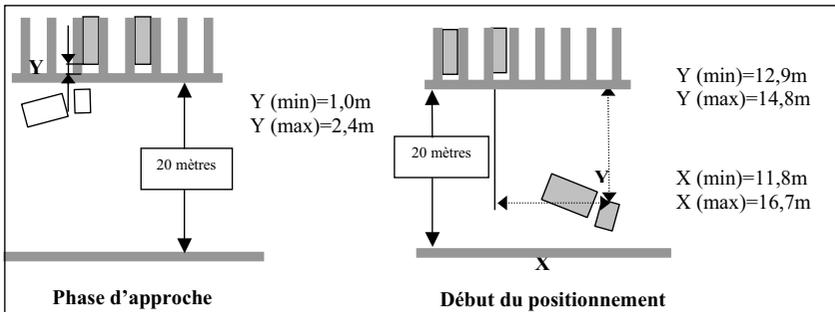


Figure 3 – Distances minimales et maximales de passage du camion semi-remorque en deux points particuliers de la mise à quai pour 8 formateurs (en mètres)

Cette démarche d'analyse montre qu'il existe, chez les formateurs, un décalage entre la représentation qu'ils se font de la manœuvre et la réalité de leur action. S'ils s'accordent sur les principaux points de passage où ils doivent prendre une décision, leurs avis divergent à la fois sur les actions à entreprendre et sur l'application qu'ils en font sur le terrain. On comprend alors les difficultés qu'ils peuvent rencontrer pour transmettre à leurs stagiaires des modes opératoires sur lesquels ils ne s'entendent pas eux-mêmes.

3.3. Mise au point d'une procédure d'assistance à la mise à quai

La description de l'activité des conducteurs et l'analyse des stratégies des formateurs ont permis de dégager quelques principes pour concevoir une aide à la mise à quai en sécurité. Ainsi, il est apparu que, durant la phase de positionnement en marche arrière, les conducteurs mettaient en jeu des mécanismes assez élaborés de confrontation des informations perçues sur le terrain, avec leur image intériorisée de l'environnement et que, les rétroviseurs ne délivraient pas l'information attendue. Une

démarche participative impliquant des formateurs à la conduite, une entreprise de transport et la CRAM Rhône-Alpes, a consisté à spécifier les habiletés requises pour un positionnement adéquat de la semi-remorque en vue d'une mise à quai.

Grâce à cette démarche empirique et de multiples allers-retours sur le terrain, un mode opératoire de mise à quai en contre-main a pu voir le jour. Celui-ci vise à décharger le conducteur d'une partie des opérations mentales complexes mises en œuvre aux différentes étapes de la manœuvre :

- le conducteur n'est plus dépendant des informations saisies dans les rétroviseurs pour identifier sa position, puisque qu'il est guidé par la procédure dans la prise en compte de repères sur le terrain, simples et reproductibles sur chaque site de livraison.
- Afin que les regards ne se concentrent plus sur les rétroviseurs droits lors de la phase de recul, entraînant une absence de contrôle de la cassure de la remorque dans le rétroviseur gauche, la procédure incite le conducteur à suivre des yeux, dans ce rétroviseur, un repère fixé sur la tête de la remorque (face de la remorque visible depuis le rétroviseur gauche).
- Le suivi de ce repère permet de contrôler les mouvements de la remorque et de diminuer les risques liés au porte-à-faux sur la gauche, mais également de maintenir un angle de cassure constant de l'attelage pour un meilleur positionnement devant l'emplacement (Pour une présentation plus détaillée des différents aspects de cette procédure, voir Laville, 2000).

3.4. Evaluation de l'aide procédurale à la mise à quai

Cette phase de l'étude se proposait de tester l'efficacité du mode opératoire préconisé en comparant, pour 9 conducteurs, un essai libre de mise à quai en contre main (E2) à un essai de mise en pratique de l'aide procédurale (E5).

L'examen des données recueillies au terme de l'essai E2 confirme la difficulté de la mise à quai en contre-main, puisque 6 conducteurs sur 9 échouent à positionner leur ensemble routier à l'issue de cet essai. En revanche, les résultats concernant la procédure sont assez encourageants : l'application du mode opératoire recommandé (essai E5) permet à 8 de ces conducteurs de réussir la manœuvre en une seule tentative.

En termes de trajectoire, l'application du nouveau mode opératoire (E5) entraîne une diminution de la dispersion des points de passage (la procédure impose un passage obligé) et une utilisation plus rationnelle de l'espace disponible (figures 4 et 5).

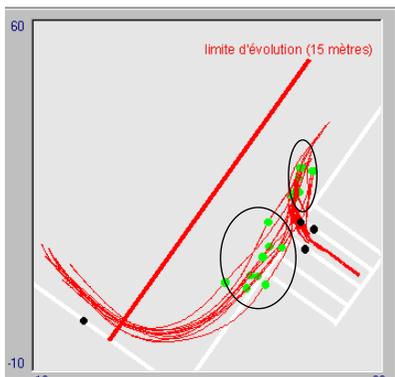


Figure 4 – Superposition des trajectoires de mise à quai des 9 sujets, essai libre E2

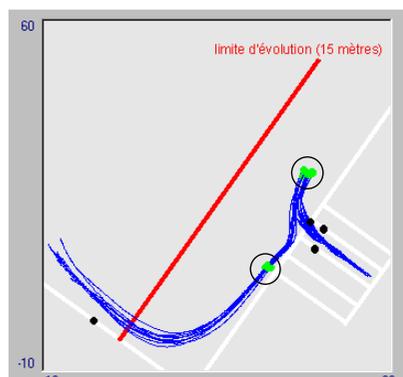


Figure 5 – Superposition des trajectoires de mise à quai des 9 sujets, essai d'application E5

Le respect du nouveau mode opératoire modifie également de façon significative :

- L'écart entre la cassure de l'attelage en début de positionnement et d'entrée dans l'emplacement ($F_{(1,8)} = 5,13$; $P < 0,005$),
- la répartition des consultations entre les rétroviseurs et l'environnement, puisqu'elle amène le conducteur à diriger son regard vers les zones à gauche de la cabine, ce qu'il ne faisait pas

spontanément auparavant du fait de la recherche de repères spatiaux dans le rétroviseur droit et d'autres zones de l'environnement (figure 6).

La synthèse des entretiens qui suivaient les essais, a mis en évidence une réelle satisfaction des conducteurs qui sont surpris de l'amélioration notoire et très rapide de leurs performances. Cependant, l'analyse de l'activité et l'évaluation de l'aide ayant été réalisées en site protégé, plusieurs conducteurs s'interrogent sur la validité de cette procédure en site réel.

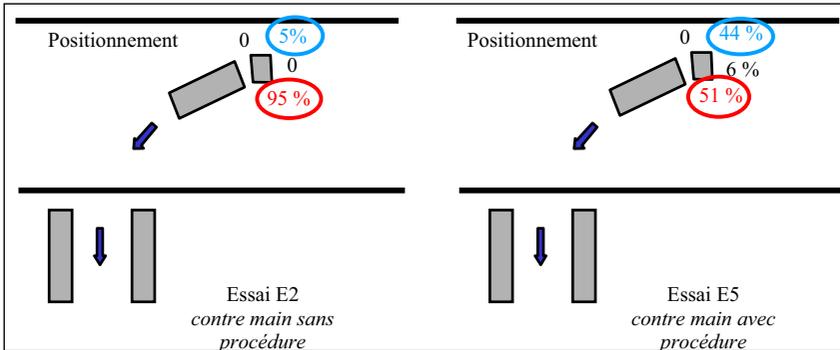


Figure 6 – Durée de consultation (en pourcentage) sur chaque zone d'information en fonction de l'essai

4 DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Synthèse de la démarche ergonomique

Ce travail a été l'occasion de faire la relation entre l'activité de conducteurs de camions semi-remorques et différents autres paramètres de la tâche. En réponse à certaines questions posées en préambule, les résultats montrent principalement que :

- la manœuvre peut être décomposée en différentes phases, dont les exigences varient selon les contraintes de la tâche,
- les modes opératoires pour réaliser la mise à quai sont très diversifiés, chez les conducteurs comme chez les formateurs,
- le canal visuel des conducteurs est fortement sollicité par la consultation des rétroviseurs lors du recul et de ce fait les conducteurs ne contrôlent plus les zones à risque,
- le départ en contre-main et le positionnement entre deux remorques exigent plus d'actions, de raisonnements et de prises d'information que la main courante, du fait d'une mauvaise appréhension des rapports spatiaux entre les divers éléments de l'environnement liée à une concentration de l'attention sur les rétroviseurs droits,
- les informations visuelles délivrées par les rétroviseurs s'avèrent insuffisantes pour juger de l'angle de cassure optimal pour insérer l'arrière de la semi-remorque dans l'emplacement.

L'enchaînement des opérations de mise à quai est maintenant mieux identifié : il apparaît que les différentes étapes de guidage de la manœuvre se manifestent en même temps que les exigences de surveillance extérieures liées à la sécurité et se révèlent parfois en contradiction avec celles-ci. Une méconnaissance de l'activité réelle des conducteurs pouvait conduire à des choix de systèmes d'aide mal adaptés à leurs besoins. Compte tenu de ces éléments, il est clair qu'un système d'assistance au recul doit contribuer à rétablir la cohérence et la continuité de l'action, de telle manière que la surveillance de l'environnement extérieur s'effectue sans conflit avec les exigences de guidage.

L'aide procédurale à la manœuvre comme alternative à l'assistance vidéo

L'implantation d'un dispositif d'assistance à la visibilité (caméra vidéo) apparaît comme une solution envisageable pour aider les conducteurs dans les phases de recul de la manœuvre.

Or, l'utilisation d'un tel système d'aide oblige le conducteur à procéder en temps partagé : un temps pour le guidage du recul, un temps pour la consultation de l'écran de contrôle du dispositif, avec mise en parallèle des deux types d'information pour l'anticipation de l'action suivante. En bref, le conducteur est amené à décomposer son plan d'action en étapes successives et à gérer deux types de tâches en parallèle tout en négligeant les exigences de sécurité qui ont été identifiées dans l'analyse précédente.

Il est apparu possible d'assister les conducteurs autrement, en leur proposant de suivre une procédure de mise à quai qui supplée certaines défaillances de leur mode opératoire durant la phase de positionnement et allège les contraintes perceptivo-motrices de la tâche en leur permettant d'être correctement positionnés pour entrer dans l'emplacement. Le suivi de la procédure de mise à quai permet d'amender le mode opératoire des conducteurs en :

- préconisant une trajectoire de positionnement,
- redistribuant les regards vers les zones à risque,
- diminuant la cassure de l'attelage (risques liés au porte-à-faux de la remorque),
- limitant le nombre de tentatives infructueuses,
- allégeant la charge de travail liée à la manœuvre en contre-main.

Cependant, comme la validation de cette procédure a eu lieu hors du contexte d'utilisation en situations réelles de travail (circulation de véhicules, piétons, charge transportée, contraintes de temps, etc.), l'attention du conducteur se trouvait surtout consacrée à la tâche de guidage sans une réelle pression liée au respect des contraintes de sécurité. Cette procédure demande donc encore à être validée par des conducteurs en entreprise avant une future mise en application.

Enfin, on constate que la procédure induit un positionnement correct de la semi-remorque, mais avec un manque de précision tel, qu'au moment d'entrer dans l'emplacement, le conducteur n'est pas capable d'estimer exactement la distance qui sépare l'arrière de la remorque des autres éléments de l'environnement. Le conducteur sait qu'il rentre, mais il ignore sa marge de manœuvre, aucun indice visuel ne venant corroborer ou infirmer la représentation qu'il se fait de son positionnement. C'est pourquoi, l'entrée dans l'emplacement demeure une phase « critique » de la manœuvre où le risque d'accrochage ou de renversement de piéton est toujours présent et qui pourrait justifier une analyse particulière.

Stratégies mises en jeu par l'opérateur pour manœuvrer un mobile en marche arrière

L'étude présentée ici et menée, dans un but direct d'application, s'inscrit dans une problématique plus générale de compréhension des mécanismes de contrôle de trajectoire par un individu qui se déplace à l'intérieur d'un mobile.

La recherche et la réalisation d'une trajectoire s'effectue sur la base des transformations perçues de la scène visuelle au cours du déplacement (Mestre, 1987). Pour réaliser cet ajustement continu, le conducteur regarde, cherche à voir, explore visuellement ce qui l'environne. L'activité qu'il met en jeu est la perception.

Le conducteur doit également prendre à chaque instant des décisions qui dépendent des paramètres perçus de la situation actuelle, mais aussi de l'état futur du système. Il doit donc faire des prévisions, prendre des décisions et réaliser les actions qui conviennent, en mettant en relation les informations perçues avec des informations mémorisées. Le contrôle de la trajectoire fait alors appel à un processus de représentation et d'anticipation (Berthoz, 1997).

Les conditions de travail particulières de mise à quai d'une semi-remorque en marche arrière constituent un exemple de situation où l'axe du regard ne coïncide pas avec la direction du déplacement, où les modifications de la scène visuelle à l'arrière du véhicule sont perçues à travers des miroirs et où le mouvement apparent des éléments de l'environnement est faible. Le respect de la sécurité du personnel à pied et du matériel ajoute une contrainte supplémentaire à ces caractéristiques. Le feedback visuel, qui joue un rôle important dans la modulation et la correction de la manœuvre, s'avère donc insuffisant pour permettre au conducteur d'élaborer un plan d'action en tenant compte de l'évolution de la situation.

La grande difficulté des conducteurs confrontés à ce type de tâche, serait donc liée à des problèmes de représentation spatiale et de contrôle du déplacement à partir des informations perçues dans l'environnement. La procédure, si elle ne se substitue pas à l'information visuelle manquante,

fournit cependant un guide pour l'action en fixant des points de repères, établissant un passage obligé et orientant le regard vers les zones où pourrait survenir le risque.

L'étape suivante consistera à s'assurer du bien fondé de cette procédure et de son application effective par les conducteurs préalablement formés.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. & Hoc, J.-M. (1998). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : Pour quels buts ? Comment ? *Le Travail Humain*, 61 (3), 209-234
- Berthoz, A. (1997). Le sens du mouvement. Paris, Editions Odile Jacob (Sciences)
- CNAM R354 (1992). Prévention des risques occasionnés par les engins circulant ou manœuvrant fréquemment en marche arrière. Recommandations aux entreprises relevant du Comité Technique National des Industries du Bâtiment et des Travaux Publics, adoptées le 31 janvier 1991. *Travail et Sécurité*, 2, p.175
- CNAMTS (1999). Statistiques financières et technologiques des accidents du travail (années 1995-1996-1997). Direction des risques professionnels, Paris, 416 p.
- Droulez, J. & Berthoz, A. (1990). The concept of dynamic memory in sensorimotor control. In D. R. Humphrey & H. J. Freund (Eds.), *Motor control: Concepts and issues* (pp 137-161). Chichester, G.B.: Wiley and Sons
- ÉPICEA : Étude de Prévention par Informatique des Comptes-rendus d'Enquêtes d'Accidents du travail (1999). Base de données INRS sur les accidents du travail des travailleurs salariés, consultation de juin 1999
- Fernandez, J. C. (1997). Prévention des accidents causés par le recul des engins mobiles. *Cahiers de Notes Documentaires INRS*, 166, 143-156
- Germain, C. & Blanchet, V. (1992). *Radars et caméras de recul – Performances techniques et analyse ergonomique* (Rapport n° 9202). Bron : INRETS – LESCO. Juin
- Hella, F., Neboit, M. & Laya, O. (1995). Les paramètres oculomoteurs comme indicateurs des exigences de surveillance en conduite automobile. In A. Pottier & M. Neboit (Eds.), *L'analyse ergonomique du travail par l'étude de l'exploration visuelle* (pp. 151-156). Toulouse, France : Octarès Editions.
- Kaplan, S., Dessaigne, M.-F. & Dejeammes, M. (1994). *Etude ergonomique de la fonction accostage du bus* (Rapport n° 9413). Bron : INRETS – LESCO. Juill.
- Laville, V. (2000) - *Contribution à la conception d'une aide aux manœuvres de mise à quai en marche arrière*. Mémoire de DESS Psychologie du Travail et Nouvelles Technologies, Universités de Metz et Nancy 2. Oct.
- Leplat, J. (1997). Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique. Paris, PUF
- Malaterre, G. & Saad, F. (1986). Les aides à la conduite ; définition et évaluation. Exemple du radar anti-collision. *Le Travail Humain*, 49 (4), 333-346
- Martin, P., Brand, F. & Servais, M. (1999). Correlation of the exposure to a pollutant with a task-related action on workplace: the CAPTIV™ system. *Annual Occupational Hygiene*, 43(4), 221-233
- Mestre, D. (1987). Représentation de la dynamique d'un véhicule lors du contrôle visuel du déplacement. *Le Travail Humain*, 50 (1), 47-61
- Ministère de l'Équipement, du Transport et des Logements (27/03/00). Les transports terrestres en chiffres. <http://www.transports.equipement.gouv.fr/>
- Muselli, P. (1996). *La rétro - vision par caméras – Analyse des besoins des routiers ; analyse des stratégies visuelles* (Rapport n°9607). Bron : INRETS – LESCO. Oct.
- Ombredane, A. (1955). Introduction. In : A. Ombredane & J. M. Faverge (Eds.), *L'analyse du travail*. (pp. 1-18). Paris, PUF.

- Pailhous, J. & Cavallo, V. (1982). Les effets spatiaux du mouvement : leur rôle et leur traitement. *L'Année Psychologique*, 82, 457-472
- Rapport « MERLET » (1995). Rapport du groupe de travail « sécurité et prévention des accidents du travail dans les entreprises de transport routier de marchandises » - Point n° 8. Comité Technique National des Industries des transports et de la manutention, 7 juin 1995, Paris, 42 p.
- Southall, D., Tait, R., Porter, M. & Freer, M. (1999). *Improving driver's vision from large vehicles*. Communication à la 8ème Conférence Internationale « Vision in Vehicles », Université de Boston (MA), Etats-Unis. Août
- Specht, M. & Spérandio, J. C. (1995). L'analyse de la conduite automobile pour la conception des systèmes d'aide. Une application au système AICC. *Psychologie Française*, 40 (1), 73-83
- Stern, J. A., Ranney, T. A., Simmons, L. A., Boulos, Z., & Macchi, M. M. (1999). *Rear-view mirror glances during extended truck simulator driving*. Communication à la 8ème Conférence Internationale « Vision in Vehicles », Université de Boston (MA), Etats-Unis. Août
- Warren, W. H. & Kurtz, K. (1992). The role of central and peripheral vision in perceiving the direction of self-motion. *Perception and Psychophysics*, 51 (5), 443-454

Evaluation d'un collecticiel structuré par rapport à un forum de discussion

**Myriam Lewkowicz
Manuel Zacklad**

Tech-CICO

(Technologie de la coopération pour l'innovation et le Changement Organisationnel)

UTT (Université de Technologie de Troyes)

12, rue de Marie Curie - BP 2060

10010 Troyes cedex

myriam.lewkowicz@univ-troyes.fr

manuel.zacklad@univ-troyes.fr

RESUME

Nous présentons ici une évaluation du collecticiel Memo-net, basé sur le modèle d'activité collective DIPA, du même niveau de généricité que les modèles offerts dans la librairie CommonKADS. Ce collecticiel permet une modélisation « au fil de l'eau » de certaines connaissances, tout en offrant un environnement de résolution de problème distribué, facilitant l'accès et le partage des connaissances. Notre hypothèse est que l'utilisation de ce type d'outil coopératif structuré permet de pallier la réduction de la coordination par perception mutuelle. Pour cela, nous avons comparé la résolution d'un problème par des groupes utilisant Memo-Net, et par des groupes utilisant un forum, ce type d'outil étant non structuré.

MOTS-CLES

Collecticiel, résolution de problème, expérimentation

1 INTRODUCTION

Le collecticiel Memo-net (Lewkowicz & Zacklad, 2000) tente de répondre au besoin particulier d'assistance aux activités de résolution de problème collectives, notamment dans les contextes où celles-ci doivent pallier certaines limitations imposées par un éloignement temporel et/ou spatial des participants. Memo-net est une implémentation informatique du méta-modèle de résolution de problème DIPA (Lewkowicz & Zacklad, 1999), du même niveau de généricité que les modèles offerts dans la librairie CommonKADS (Breuker & Van de Velde, 1994). Il possède deux spécialisations, dans l'analyse et dans la synthèse.

Dans ce texte, nous présentons une première évaluation « expérimentale » de Memo-net. Nous présentons tout d'abord les objectifs de l'évaluation qui consistent à apprécier si ce collecticiel, explicitement basé sur un modèle de méthode de résolution de problème, se révèle être un outil de médiation de l'activité collective plus efficace qu'un collecticiel non structuré de type forum. Nous définissons ensuite plus précisément le contexte dans lequel ce type de dispositif trouve son utilité : la restriction des possibilités naturelles offertes par la « perception mutuelle ». Puis nous décrivons le dispositif expérimental ainsi que la méthode d'analyse des données recueillies. Nous présentons enfin les résultats de cette expérimentation, permettant de valider certaines hypothèses.

2 DEFINITION DES OBJECTIFS DE L'EVALUATION : ETUDE DES PERFORMANCES DE MEMO-NET EN TANT QUE COLLECTITIEL MEDIATISANT DES ACTIVITES A DISTANCE

Si le modèle DIPA a déjà fait l'objet d'une évaluation partielle, cela n'était pas le cas de l'outil Memo-net qui exploite les principes du modèle. Dans l'attente de données empiriques issues d'une évaluation en milieu industriel, nous avons souhaité conduire une expérimentation « en laboratoire » pour tenter de vérifier les bénéfices potentiels de Memo-net. Deux voies étaient possibles pour évaluer l'assistance apportée par ce collectif selon que l'on souhaitait mettre l'accent sur l'une ou l'autre de ses finalités ; (1) son rôle d'aide à la conduite de réunion « synchrone/présentiel » dans une logique similaire à celle du Design Rationale ou du GDSS (Group Decision Support Systems) ou (2) son rôle de collectif permettant de palier certaines restrictions spatiales et temporelles des activités de communication tout en favorisant une certaine efficacité dans la résolution de problème (RP) collective et la réutilisation des connaissances (cf. tableau 1). Dans cette première évaluation, nous avons choisi la deuxième voie en privilégiant une situation de travail « synchrone/à distance » correspondant à des usages de type « chat ». Nous pensons que les résultats issus de cette situation d'évaluation peuvent s'extrapoler à des situations de type « asynchrone/distant » correspondant aux usages typiques des forums de discussion et des « news ».

	Même moment (synchrone)	Moments différents (asynchrone)
Même endroit (présentiel)	<i>Memo-net considéré comme un outil de Design Rationale et d'aide à la conduite de réunion</i>	(pas d'utilisation imaginée)
	Structuration des échanges dans une réunion face à face	
Endroits différents (distant)	<i>Memo-net considéré comme un collectif permettant de palier certaines restrictions spatiales et temporelles des activités de communication tout en favorisant une certaine efficacité dans la résolution de problème collective et la réutilisation des connaissances</i>	
	Structuration des échanges dans une réunion à distance médiatisée par un outil de type « chat » <u>contexte de l'évaluation¹</u>	Structuration des échanges dans un travail à distance médiatisé par un outil de type « forum » ou « news group »

Tableau 1 : usages et finalités principales de Memo-Net selon le temps et le lieu

Pour comparer des activités de résolution de problème médiatisées par Memo-net, deux options se présentaient alors à nous (tableau 2) : (1) comparer l'activité de groupes de résolution de problème utilisant la méthode DIPA (avec l'outil Memo-net implémentant cette dernière), à des groupes de résolution de problème utilisant une autre méthode de résolution de problème ou, (2) comparer l'utilisation de la méthode de résolution de problème DIPA médiatisée par Memo-Net, à l'utilisation de cette même méthode médiatisée par un forum de discussion.

¹ En fait, cette condition a été en partie simulée puisque les groupes de sujets étaient dans la même salle mais se tenaient derrière des ordinateurs avec interdiction d'échanger verbalement.

	Méthode de RP libre	Méthode de RP DIPA
Dispositif technique : Forum	Choix libre de la méthode de résolution de problème par le groupe (jugé comme introduisant trop de variété, celle-ci pouvant tenir au choix d'une méthode de RP plus ou moins adaptée que DIPA et rendant difficile les comparaisons entre les groupes)	La méthode DIPA est expliquée aux sujets pour être mise en oeuvre « librement » à travers le forum (groupe forum)
Dispositif technique : Memo-net	(non pertinent)	La méthode DIPA est présentée aux sujets à travers l'outil (les sujets sont obligés d'utiliser les catégories proposées par l'outil)

Tableau 2 : Comparaisons possibles pour l'évaluation de Mémo-Net

Pour être méthodique dans notre analyse, il nous fallait dans un premier temps mettre en œuvre la seconde option (comparaison de groupes utilisant des dispositifs techniques différents mais la même méthode de RP, DIPA). En effet, par rapport au problème test qui serait fourni aux sujets, le choix par les groupes utilisant un forum de discussion d'une méthode libre, introduirait une trop grande variété pour permettre la comparaison. La supériorité ou l'infériorité des résultats des groupes utilisant Memo-net pourrait alors être expliquée autant par le choix d'une méthode plus ou moins adaptée que par les avantages de l'outil. En résumé, les objectifs de l'évaluation sont d'apprécier si Memo-net, collectif explicitement basé sur un modèle de méthode de résolution de problème, se révèle être un outil de médiation de l'activité collective plus efficace qu'un collectif non structuré de type forum.

3 PROBLEMATIQUE DE LA COORDINATION DANS UN CONTEXTE DE RESTRICTION DES POSSIBILITES NATURELLES OFFERTES PAR LA « PERCEPTION MUTUELLE »

Pour évaluer les avantages potentiels de Memo-net sur d'autres dispositifs de médiation de l'activité dans le cadre d'un travail à distance, il est nécessaire de préciser le contexte dans lequel ces dispositifs trouvent leur utilité. En se basant sur le cadre théorique offert par la « Théorie des Transactions Intellectuelles » (Zacklad, 2000) on considèrera que ces collecticiels visent à palier les restrictions des possibilités « naturelles » offertes dans le contexte de la coordination par « perception mutuelle ». La « perception mutuelle » est le premier niveau de coordination dans cette théorie, pendant de « l'ajustement mutuel » (Mintzberg, 1979), redéfini dans le contexte d'une théorie cognitive et gestionnaire de l'activité coopérative :

« à ce niveau de coordination, on offre aux acteurs les moyens d'une prise d'information directe sur-le-champ d'intervention des partenaires qui réduit la dépendance cognitive et donc le nombre de transactions intellectuelles nécessaires pour se coordonner. On favorise à terme une moindre distance cognitive. » (Zacklad, 2000, p. 212)

La création d'environnements permettant la perception mutuelle correspond à la mise à disposition d'espaces de travail communs, bureaux, salles de réunion, salles de contrôle et de supervision, plateaux pour faciliter la conception concurrente. Par ailleurs, différentes règles d'organisation visent à faciliter la perception mutuelle comme celles enjoignant aux acteurs de travailler sur des lieux et à des horaires similaires.

Lorsque les participants ne sont pas présents simultanément (asynchronicité des échanges), ou lorsque les modalités de la communication sont réduites (non-disponibilité des canaux visuels et auditifs), on recourt à différents dispositifs de médiation technique tels que la visiophonie et le « chat » (outils synchrones), ou la messagerie et les forums de discussion (« outils asynchrones »), qui permettent de mettre en place des mécanismes de « coordination par perception mutuelle médiatisée ». Ces

dispositifs de médiation technique restreignent la variété des modalités de communication offertes au groupe.

Dans cet article, nous analyserons les restrictions de la communication et les manières d’y remédier sous l’angle de la coordination. Nous adopterons la définition de Malone et Crowston (1990) :

« *coordination is the act of managing interdependencies between activities performed to achieve a goal* »²

Pour ces auteurs, une coordination efficace passe par une bonne gestion des interdépendances entre les activités. Ces interdépendances sont de trois types, les deux premiers pouvant être considérés comme mieux pris en charge par Mémo-Net que par un forum classique :

- pré-requis : le résultat d’une activité est nécessaire pour réaliser l’activité suivante,
- ressource partagée : plusieurs activités nécessitent la même ressource,
- simultanéité : plusieurs activités doivent être réalisées au même moment.

Dans une réunion, une des ressources partagée critique est le temps de parole. Cette ressource est allouée à travers le processus de « gestion des tours de parole ». En présentiel, les participants utilisent des techniques sophistiquées pour réguler l’attribution des tours de parole, techniques faisant appel au regard, à l’intonation ou à la posture, par exemple. Dans le travail synchrone/distant il est beaucoup plus difficile de gérer les tours de parole de façon systématique. Par exemple, des travaux de pragmatique dans le champ de la CMC (Computer Mediated Communication), (Marcoccia, 2000) montrent que dans les forums de discussion classiques, la notion de « qui s’adresse à qui » est parfois difficile à cerner. Pour remédier à cette difficulté, nous considérons que Memo-net, en proposant une typologie a priori des arguments en fonction d’un modèle de résolution de problème adapté à la situation, vise à favoriser une « méta-communication argumentative ». Avant d’intervenir, les participants doivent décider du type d’argument qu’ils choisiront d’utiliser en fonction de son « rôle » dans la discussion (cf. figures 1 et 2).

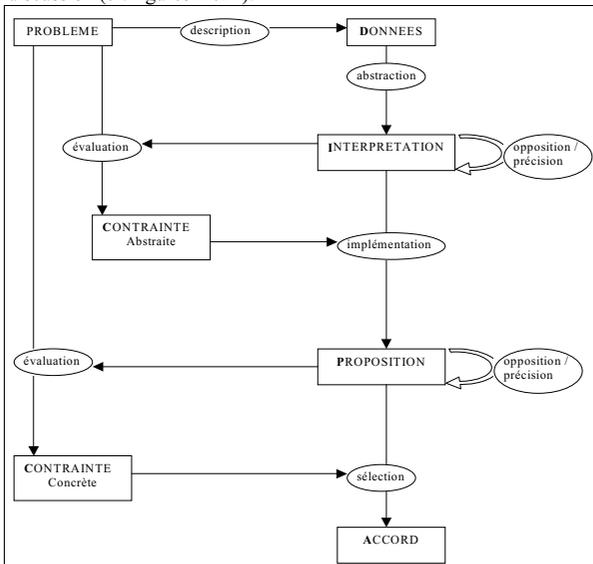


Figure 1 : Le méta-modèle DIPA d’où sont déduits les modèles spécialisés d’analyse et de synthèse

² La coordination consiste à gérer les interdépendances entre les activités réalisées pour atteindre un but



Figure 2 : Un écran de Memo-net présentant une typologie d'interventions adaptée au problème (bouton en haut de la copie) et les relations entre les arguments échangés dans l'ordre chronologique (représentation de l'espace problème)

L'autre interdépendance mieux prise en charge par Memo-net est celle relative aux pré-requis. Nous supposons que les catégories d'argumentation proposées dans Memo-net permettent aux acteurs utilisant cet outil de partager davantage une représentation commune du problème que dans un forum de discussion. En effet, dans le forum de discussion, la relation entre les interventions est justifiée chronologiquement et par des associations d'idées. En revanche, dans Memo-net, la logique de l'intervention est fondée sur le modèle de résolution de problème DIPA. Les relations entre les catégories d'intervention sont donc qualifiées de manière plus précise que dans un forum de discussion comme le montre le tableau 3, chaque intervention pouvant apparaître comme le « pré-requis » logique de la précédente. Ceci permet aux participants de disposer d'une représentation textuelle partagée de l'espace problème en visualisant les « catégories » ou « rôles » (au sens de CommonKADS) ayant servis d'opérateur dans la résolution du problème.

Forum de discussion classique	Memo-net (DIPA)
Est-indépendant (Sujet principal)	Est-indépendant (Problème)
Est-associé-à (Sujet principal, réponse)	Est-une-description (Donnée, Problème)
Est-associé-à (réponse, réponse à réponse)	Est-une-abstraction (Interprétation, Donnée)
	Est-opposée-à (Interprétation, Interprétation)
	Précise (Interprétation, Interprétation)
	Permet-une-évaluation (Contrainte, Interprétation)
	Est-une-implémentation (Proposition, Interprétation)
	Est-opposée-à (Proposition, Proposition)
	Précise (Proposition, Proposition)
	Permet-une-évaluation (Contrainte, Proposition)
	Est-une-sélection (Accord, Proposition)

Tableau 3 : Qualification des relations entre les catégories d'intervention dans un forum de discussion classique et dans Memo-net

C'est parce que nous estimons que Memo-net gère mieux, à la fois les interdépendances liées à la ressource partagée qu'est le temps de parole (méta-communication argumentative), et celles liées aux pré-requis (représentation partagée de l'espace problème), que nous pensons que son efficacité peut

être meilleure que celle offerte par des outils de type forum. Notre hypothèse peut donc être formulée de la manière suivante :

Un outil de médiation de l'activité collective explicitant une méthode de résolution de problème offre un dispositif facilitant la « méta-communication » argumentative (gestion des tours de parole) et la représentation de l'espace problème collectif (pré-requis logiques entre les interventions) ce qui permet de pallier plus efficacement à la réduction des modalités de la coordination par perception mutuelle (travail synchrone à distance) qu'un dispositif de médiation n'offrant pas, ou plus faiblement, cette fonctionnalité.

Pour vérifier cette hypothèse nous pouvions mobiliser trois familles d'indicateurs :

- la qualité des solutions trouvées à durée, nombre de personnes et compétences égales,
- le nombre de solutions produites,
- l'évaluation de l'efficacité de la coordination.

Notons que l'efficacité de la coordination pourrait être considérée comme un facteur facilitant le nombre de solutions produites et la qualité de ces solutions, surtout dans un contexte de temps limité. La contrainte de temps ayant été très faible dans le contexte de cette expérimentation nous considérerons que ces facteurs sont indépendants.

En ce qui concerne la qualité des solutions, leur évaluation peut être effectuée grâce à une mise en œuvre de celles-ci, ou par le jugement d'un ou plusieurs experts, ou enfin par auto-évaluation du collectif. Le nombre de solutions produites pourra être facilement comptabilisé dans les forums de discussion ou dans Memo-net. L'efficacité de la coordination sera évaluée par des méthodes qualitatives et quantitatives décrites plus bas.

Notre hypothèse pourrait être réfutée en observant une performance moindre des groupes Memo-Net par rapport aux groupes forum. En effet, il est possible que la mise en œuvre de la méthode de résolution de problème soit beaucoup trop éloignée des modèles naturels de discussion de groupe, ce qui pénaliserait la coordination et diminuerait l'efficacité de la résolution de problème. Inversement, avec un mécanisme laissant libre cours aux associations d'idées comme dans le forum de discussion, les acteurs pourraient adapter librement la méthode de résolution de problème.

4 DISPOSITIF EXPERIMENTAL³

Nous avons construit aléatoirement quatorze groupes de trois ou quatre étudiants ayant les mêmes compétences quant à l'utilisation de collecticiels, que nous avons répartis en 3 séances. Les trois ou quatre étudiants composant un groupe étaient réunis autour d'une table ronde équipée de quatre ordinateurs en réseau (figure 3). Sept groupes ont utilisé Memo-net dans une salle et sept groupes ont utilisé un forum de discussion (modèle de forum de Lotus Notes Domino) dans une autre salle.

La première phase a consisté en une formation des étudiants :

- pour les groupes utilisant Memo-net, une présentation du fonctionnement du collecticiel leur a été faite, illustrée par un exemple de résolution de problème ;
- pour les groupes utilisant le forum de discussion, un rappel de l'utilisation d'un forum de discussion a été fait suivi d'une présentation de la méthode de résolution de problème DIPA (sans la citer) à l'aide d'un exemple.

³ Nous remercions vivement Vincent Da Costa, N'deye Seck et Imed Boughzala pour leur contribution à la préparation et au suivi de cette expérience.

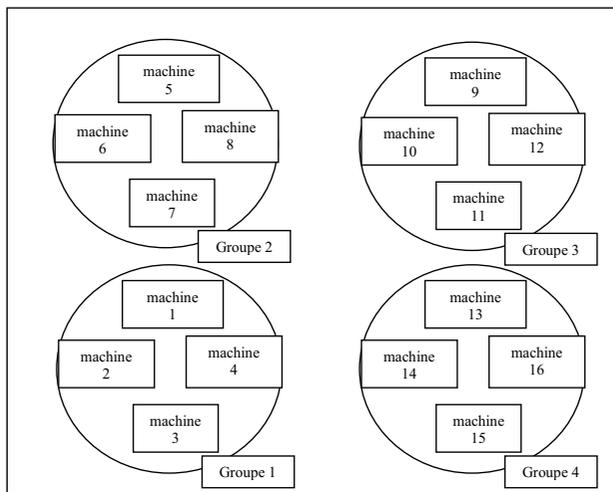


Figure 3: Disposition de chacune des salles

Nous avons soumis aux groupes un premier problème « de formation », avant de leur soumettre le problème réel. La résolution collective devant être entièrement médiatisée par le collecticiel mis à leur disposition, un animateur désigné par le groupe avait seul la possibilité de communiquer oralement avec ses partenaires, et ce exclusivement pour gérer l'enchaînement des étapes de la méthode.

Le problème réel illustre une situation à laquelle les étudiants de cette université sont confrontés à chaque rentrée semestrielle : l'inscription aux Unités de Valeur de leur choix, problème ardu qui suscite souvent quelques frustrations. Il leur était demandé, avec leur expérience des difficultés rencontrées et des contraintes de leur université de proposer plusieurs solutions visant à permettre de minimiser ces frustrations et d'être plus efficace dans le processus d'inscription.

Nous avons distribué un questionnaire à la fin du processus de résolution, comportant des questions fermées dont la réponse était un positionnement sur une échelle de notes allant de 1 à 7 (de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord »), et des questions ouvertes. Les étudiants devaient indiquer l'identifiant qu'ils avaient utilisé lors de l'exercice et s'ils étaient animateurs.

4.1. Données recueillies

Les données qualitatives que nous allons analyser sont les suivantes :

- un ensemble de remarques générales sur la résolution de problème, la méthode, l'outil Memo-net et l'animation issu des réponses ouvertes au questionnaire,
- l'ensemble des propositions ou des idées de solutions.

Les données quantitatives que nous allons analyser sont les suivantes :

- les notes attribuées aux questions fermées concernant l'évaluation globale de Memo-net et du forum de discussion, l'évaluation de la méthode, de l'outil Memo-net, et de l'animation,
- le nombre de document de chaque type (problèmes, solutions, etc.) créé par auteur,
- le nombre de mots échangés au cours d'un processus.

4.2. Méthode d'analyse⁴

Nous résumons dans le tableau 4 les données que nous avons utilisées pour tester les hypothèses que nous avons listées précédemment.

Hypothèse générale	Résultats escomptés		Moyens de vérification
Meilleure performance en utilisant Memo-net	Meilleurs résultats	Nombre de solutions plus élevé	Données quantitatives
		Meilleure qualité des solutions	Données qualitatives (questionnaire : auto-évaluation)
	Meilleure coordination = meilleure gestion des interdépendances = meilleure compréhension du processus, meilleure cohérence		Données quantitatives (Nombre de mots/nombre de solutions)
			Données quantitatives (questionnaire)
Données qualitatives (Questionnaire)			

Tableau 4: Résumé de l'expérimentation : hypothèse et analyse

4.3. Résultats

Hypothèse du nombre de solutions plus élevé avec Memo-net

Comme le montre le tableau 5, les données quantitatives ne révèlent pas de différence importante entre le nombre d'interventions créées en utilisant Memo-net ou en utilisant un forum de discussion.

<u>Nombre d'interventions</u>		<u>Nombre d'interventions</u>	
Memo-net 1	50	Forum 1	33
Memo-net 2	43	Forum 2	33
Memo-net 3	43	Forum 3	32
Memo-net 4	35	Forum 4	18
Memo-net 5	31	Forum 5	52
Memo-net 6	52	Forum 6	64
Memo-net 7	43	Forum 7	71
	<u>297</u>		<u>303</u>
Moyenne	42,4	Moyenne	43,3

Tableau 5 : Comparaison du nombre d'interventions entre Memo-net et Forum

De plus, le nombre de réparations et de moyens (propositions concrètes respectivement dans les modules diagnostic et conception) proposés dans Memo-net est presque identique (tableau 6) à celui du nombre de solutions proposées dans le forum de discussion. Cette première hypothèse n'est donc pas vérifiée.

⁴ Nous tenons à remercier Julien Baudry pour son travail d'analyse les données recueillies.

Réparations Moyens			Solutions	
Memo-net 1	5	7	Forum 1	4
Memo-net 2	3	5	Forum 2	7
Memo-net 3	6	6	Forum 3	9
Memo-net 4	3	2	Forum 4	5
Memo-net 5	4	5	Forum 5	18
Memo-net 6	4	16	Forum 6	12
Memo-net 7	2	5	Forum 7	17
	27	46		
		73		72

Tableau 6 : Comparaison du nombre de solutions entre Memo-net et Forum

Hypothèse de la meilleure qualité des solutions trouvées avec Memo-net

Les écarts entre les réponses données aux deux premières questions portant sur l'auto évaluation de la qualité des solutions ne sont pas importants, comme le montre la figure 4.

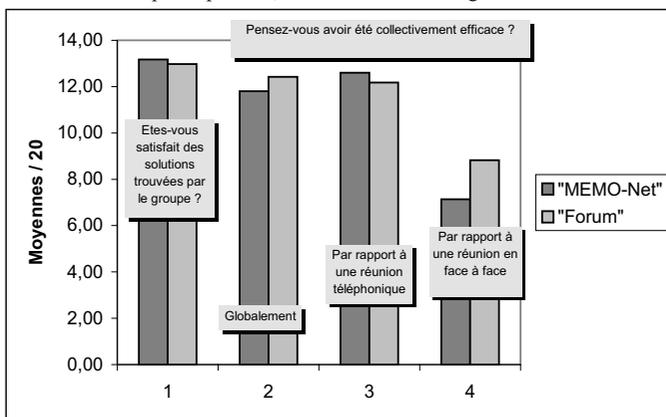


Figure 4 : Comparaison des réponses concernant la qualité des solutions

De plus, l'écart type entre les réponses à la première question pour les groupes Memo-net est de 1,9 et celui des groupes forum est de 1,4. Les réponses sont donc homogènes et relativement équivalentes.

Les réponses aux questions ouvertes n'apportent aucune information supplémentaire permettant de différencier la qualité des solutions élaborées dans les groupes forum et Memo-net.

Au regard de ces résultats, notre seconde hypothèse n'est donc pas vérifiée.

Hypothèse d'une meilleure coordination avec Memo-net

Le tableau 7 permet de comparer le nombre total de mots utilisés pour résoudre un problème et le nombre d'interventions au cours de ce processus de résolution. Le nombre de mot moyen par processus est beaucoup plus important dans les forums de discussion que dans Memo-net. Le nombre de mots moyen par intervention au cours du processus est d'environ quatre pour Memo-net, alors qu'il est d'environ vingt-huit pour les forums de discussion. Ainsi, pour un nombre de propositions moyen à peu près égal (42,4 pour Memo-net et 43,3 pour le forum de discussion), le forum de discussion nécessite d'employer sept fois plus de mots environ.

	Nombre de mots	Nombre de mots/Nombre d'interventions		Nombre de mots	Nombre de mots/Nombre d'interventions
Memo-net 1	131	2,6	Forum 1		
Memo-net 2	140	3,3	Forum 2	995	30,2
Memo-net 3	235	5,5	Forum 3	1288	40,2
Memo-net 4	148	4,2	Forum 4	784	43,6
Memo-net 5	168	5,4	Forum 5	1201	23,1
Memo-net 6	104	2	Forum 6	1061	16,6
Memo-net 7	158	3,7	Forum 7	1072	15,1
Moyenne	154,9	3,8	Moyenne	1066,8	28,1

Tableau 7 : Comparaison du nombre de mots échangés et du nombre de mots moyen par intervention

Ce résultat qui montre que les groupes Memo-net et forum de discussion arrivent à la même efficacité globale (même nombre de solutions proposées) avec un nombre de mots et d'expressions très réduit, illustre que ces groupes s'inscrivent directement dans le moule de la méta-communication argumentative DIPA.

Le fait que le forum de discussion oblige à décrire beaucoup plus les propositions pour obtenir le même nombre de solutions introduit une gêne pour la conduite du processus qu'un apport d'information. En effet, les utilisateurs du forum de discussion à être davantage demandeurs de guides, qu'ils s'apparentent à une méthode ou à un animateur. Cette idée est illustrée par les nombreux commentaires du questionnaire concernant la cohérence du processus ou sa compréhension. Ces commentaires sont plus nombreux pour les utilisateurs du forum de discussion et sont alors critiques comme le montrent les extraits ci-dessous. Le problème de la non-structuration et de la gestion difficile du processus est ainsi identifié de façon récurrente :

- *Difficile de trouver le fil conducteur du projet. Chacun propose quelque chose mais il n'y a pas vraiment de structure. L'animateur n'a pas vraiment une position dominante (ça manque).*
- *Certaines réponses ne correspondent pas aux questions. De ce fait, toutes les réponses sont mélangées.*
- *Les réponses vont dans tous les sens, on ne sait plus qui a dit quoi. On traite plusieurs problèmes en même temps.*
- *Il est difficile de gérer tous les messages. On se perd vite dans le flux d'information et par conséquent on oublie de temps en temps la finalité exacte de la question que l'animateur pose.*
- *Il est quelques fois difficile de ne pas mêler la recherche de solution directement à l'identification des problèmes.*
- *Elle[la méthode] est utile car tout le monde peut s'exprimer librement mais elle n'est pas claire si les personnes utilisent mal l'outil. De plus les personnes ont tendances à se disperser...*
- *Le problème de cette méthode, c'est qu'il est difficile de voir à quelle question principale appartient tel ou tel message lorsque le flux d'information est important.*

Les utilisateurs de Memo-net sont en revanche très positifs quant à la méthode et l'outil pour la phase de résolution de problème, regrettant seulement de n'avoir pas plus de temps à y consacrer. Les termes du module diagnostic paraissent toutefois plus difficiles à appréhender et le système de proposition pour choix et de recueil des avis est perçu comme réducteur :

- *Aussi efficace qu'une réunion l'un en face de l'autre mais plus rapide car pas d'éloignement par rapport aux sujets.*
- *Outils intéressant mais manque de temps pour lire les commentaires des autres.*
- *Outil efficace mais qui nécessite de passer beaucoup de temps dessus, pour être au courant de tout ce qui se passe.*

- Il manque l'interactivité de la discussion, mais pour un travail en temps différé c'est bien car on peut lire les réponses des autres avant de se prononcer.
- Gain de temps très important, coûts faibles.
- Assez rapide et bien structuré.
- Basé sur la concertation à distance, comme une table ronde, c'est intéressant. - Tout le monde donne son avis.
- Méthode très efficace et intéressante
- Manque de clarté entre « fonctionnalité », « besoin » et « moyen ».
- Difficile de trouver entre besoin / fonctionnalité / moyen.
- Obligation de définir les fonctionnalités pour pouvoir afficher les moyens proposés
- Je trouve que la prise de décision n'est pas vraiment collective, c'est surtout l'animateur qui a un poids fort.
- La décision collective manque de discussion. On prend la majorité point.

Les réponses aux questions fermées concernant la méthode confirment son importance pour les groupes forum. En effet, celle-ci est beaucoup plus appréciée, et semble beaucoup plus utile lorsque la résolution de problème est médiatisée par un forum de discussion, comme nous le voyons dans la figure 5.

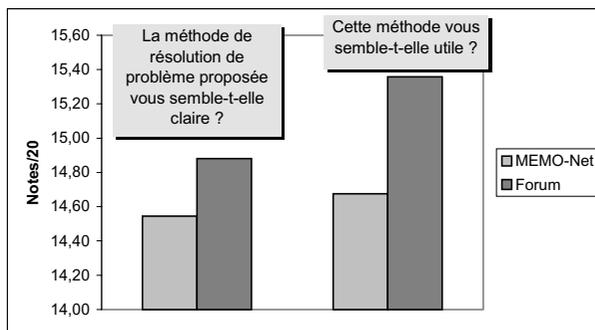


Figure 5 : La méthode DIPA apparaît plus utile pour les groupes forum

Il apparaît donc que la méthode DIPA médiatisée par Memo-net a bien été appréhendée par les utilisateurs. Ce résultat est renforcé par le graphique en figure 6 qui montre que la répartition des catégories d'argumentation dans les processus n'est pas aléatoire comme cela serait le cas si la méthode n'avait pas été comprise. Nous constatons de plus que la catégorie des données (symptômes ou besoins), occultée dans les modèles traditionnels de « Design Rationale »⁵ est présente en quantité importante.

⁵ Ou « logique de conception » : Ensemble de méthodes et d'outils de traçabilité des processus de prise de décision

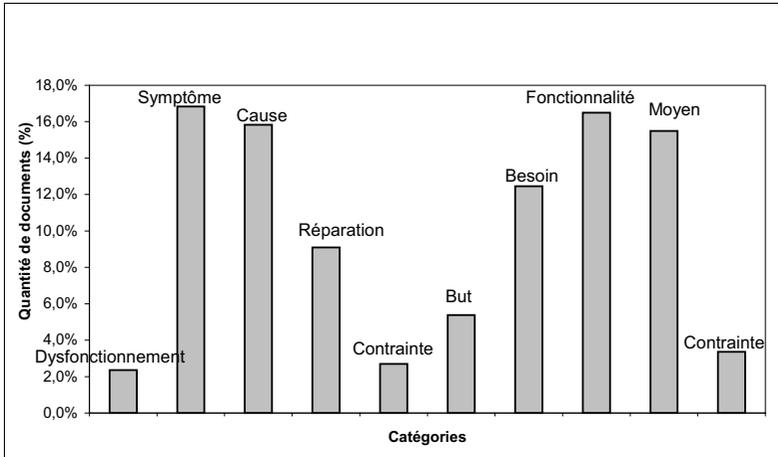


Figure 6 : Répartition du nombre total de documents par catégories pour Memo-Net

5 CONCLUSION

Le dispositif que nous avons mis en place, ainsi que l'analyse des données que nous avons recueillies, ne nous permettent pas de vérifier nos hypothèses concernant la quantité et la qualité des résultats élaborés à l'aide de Memo-net. En revanche, l'hypothèse selon laquelle, dans des situations où les modalités de communication sont réduites, des dispositifs de méta-communication argumentative et de représentation de l'espace problème permettent d'accroître l'efficacité de la coordination peut être considérée comme plausible (il est difficile de parler de vérification de cette hypothèse sans recourir à des calculs statistiques mais ces données préliminaires nous encouragent à poursuivre dans cette direction).

Nous sommes en cours d'expérimentation de Memo-net dans un cadre industriel afin de vérifier les résultats obtenus à l'issue de cette expérimentation avec des sujets étudiants. Nous allons par ailleurs conduire des expérimentations complémentaires afin de tester plus précisément si l'utilisation d'un modèle général de résolution de problème tel que DIPA est plus riche en termes d'exploration des solutions possibles et de ré-exploitation ultérieure de celles-ci.

Nos recherches futures vont également porter sur l'utilisation de modèles plus spécifiques des situations de résolution de problème dans les collecticiels. En effet, dans une approche d'acquisition des connaissances traditionnelle, le modèle de résolution de problème est co-construit par l'expert et l'ingénieur de la connaissance qui l'adaptent à l'expertise du domaine. On distingue donc dans les Systèmes à base de Connaissances le modèle des « connaissances du domaine », du modèle « du contrôle » ou de « résolution de problème ». Notre objectif est d'enrichir le modèle de résolution de problèmes DIPA sur lequel repose Memo-net par un modèle de « savoirs du domaine ». On obtiendrait alors un outil adapté à un domaine d'activité, et non plus indépendant. Ce couplage « méthode de résolution de problème / savoirs du domaine » pourrait être réalisé en liant le collecticiel à un dictionnaire de données ou à une ontologie dynamique qui permettrait par exemple d'injecter de nouvelles catégories dans Memo-net.

6 RÉFÉRENCES

- Breuker J., & Van de Velde W., (Eds) (1994). *CommonKADS library for Expertise Modelling, Reusable Problem Solving*. IOS Press, Amsterdam.
- Lewkowicz, M., & Zacklad, M., (1999). MEMO-net, un collecticiel utilisant la méthode de résolution de problème DIPA pour la capitalisation et la gestion des connaissances dans les projets de conception, in *Actes de IC'99 : conférence Ingénierie des Connaissances*, 14-16 juin 1999, Palaiseau.
- Lewkowicz, M., & Zacklad, M., (2000). A guide through the construction of a groupware for efficient knowledge management, in Dieng, R., Giboin, A., Karsenty, L., & De Michelis, G. (Eds) *Designing Cooperative Systems The Use of Theories and Models Proceedings of the 5th Int. Conference on the Design of Cooperative Systems COOP'2000*, Sophia-Antipolis, France, May 23-26, 2000, IOS Press Volume 58 2000.
- Malone T.W.,& Crowston K. (1990), What is Coordination Theory and How it Help design Cooperative Work Systems ?, in Halasz, F. (Ed.) *CSCW 90 : Proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. Los Angeles, Oct. 7-10, 1990. Association for Computing Machinery, pp. 357-370.
- Marcoccia, M. (2000). On-line Polylogues :conservation structure and participation framework in Internet Newsgroups. *Journal Of Pragmatics*, 2000.
- Mintzberg, H. (1979). *The Structuring of Organizations : A Synthesis of the Research*, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, Inc.
- Zacklad, M., (2000) La théorie des Transactions Intellectuelles : une approche gestionnaire et cognitive pour le traitement du COS, *Intellectica* 2000/1, 30, pp. 195-222.

Méthodologie de spécification pour un système informatique de guidage verbal : le déplacement des déficients visuels en ville

Florence Gaunet

Xavier Briffault

LIMSI-CNRS
Bat 508, Bp 133
91 403 Orsay

RÉSUMÉ

Ce travail présente la démarche adoptée pour déterminer les spécifications fonctionnelles pour un système informatique portable de guidage urbain pour déficients visuels. Nous présentons tout d'abord l'état de l'art sur l'espace urbain perçu par les déficients visuels et les capacités sensorielles des déficients visuels utilisables pour les déplacements en milieu urbain. Afin d'identifier les instructions optimales en fonction de l'architecture de l'environnement rencontré, une analyse de la tâche de déplacement en environnement inconnu guidée verbalement est proposée comme méthodologie. Une démarche comportant un ensemble de cinq expérimentations ainsi que l'analyse du travail des instructeurs de la locomotion indépendante pratiquée en institution spécialisée est présenté. Les résultats issus de la première expérimentation -Etape 1, instructions verbale de guidage- sont enfin décrits.

MOTS-CLÉS

aveugle, déplacement, ville, guidage, spécifications

1 INTRODUCTION

Le tissu urbain européen présente la particularité d'être particulièrement complexe -si on le compare à son équivalent nord-américain- et nécessite l'usage de nombreuses aides signalétiques pour pouvoir s'y déplacer. Ces déplacements, souvent difficiles même pour des usagers voyants, deviennent quasiment impossibles pour des personnes atteintes de déficience visuelle sévère (cécité totale ou partielle) qui ne peuvent accéder à l'information nécessaire, essentiellement présentée sous forme visuelle.

Les techniques actuellement disponibles pour satisfaire les besoins des personnes déficientes visuelles dans ce domaine du déplacement urbain (feux rouges parlants, guidage sonore dédié, bandes tactiles au sol, cartes brailles...) ont malheureusement la caractéristique d'être coûteuses, lourdes et lentes à mettre en place. Elles ne traitent que des problèmes très ponctuels, sont parfois peu efficaces et maintiennent les personnes handicapées dans une position de dépendance vis à vis de l'équipement collectif ou d'accompagnateurs.

Les problèmes d'accessibilité des villes aux déficients visuels (bien décrits dans Hughes, 1989) nous ont amenés à concevoir un système de guidage individuel, portable, de faible coût, évolutif, ne nécessitant aucun équipement des villes, n'entraînant ainsi aucune discrimination, et que nous pensons donc être d'une utilité et d'une "utilisabilité" optimales.

Ce type de système, similaire à ceux qui sont utilisés actuellement dans les voitures (e.g. Carminat, Christine...), est aujourd'hui techniquement réalisable, en raison de l'arrivée simultanée à maturité de plusieurs technologies (ordinateurs ultra-portatifs, systèmes de localisation très précis, cartes numériques de grande précision, systèmes de synthèse et reconnaissance vocale).

Le premier système de guidage pour handicapés visuels proposé remonte à 1989 (Brusnighan et al., 1989). La faible précision de localisation a rendu ce système inutilisable. Un système issu de la

recherche universitaire (conçu par la Fondation Arkenstone) utilise une synthèse vocale; il mentionne les rues et quelques bâtiments importants rencontrés lors du parcours (Fruchterman, 1996) ainsi que des instructions de guidage simplifiées. Cependant, la précision de la localisation fournie est restreinte et le guidage est donc peu précis. Un autre travail de recherche a également conduit à la réalisation d'un prototype de guidage pour les déficients visuels appelé MoBIC (Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers, Petrie et al., 1996). Le MoBIC Outdoor System (MoODS) est similaire à celui produit par Arkenstone, avec en plus un système de correction différentiel du signal GPS. Il a cependant rencontré des problèmes de commercialisation. Enfin, un dernier système est en cours de développement à l'Université de Californie, Santa Barbara. Il possède en plus des fonctions décrites dans les systèmes présentés ci-dessus un système d'acoustique virtuelle : la personne entend les noms de bâtiments, d'intersections, etc. comme s'ils venaient de l'endroit ou se trouve l'objet décrit. Ce procédé facilite l'intégration des lieux rencontrés lors du parcours et permet donc de construire plus rapidement une bonne représentation de l'environnement (Loomis et al., 1998; Golledge et al., 1998; Loomis, Golledge et Klatzky, sous presse).

De façon générale, tous les systèmes mentionnés fournissent des instructions de guidage sommaires, adaptées pour des villes américaines (rues orthogonales....). Le guidage devient plus complexe pour des villes européennes dont les rues ne sont pas orthogonales. De plus, trouver et parcourir un passage piéton est plus difficile en France qu'aux Etats-Unis par exemple.

Si la technique ne pose plus de problèmes, les caractéristiques d'un guidage efficace de personnes déficientes visuelles en environnement urbain complexe -comme les villes françaises- par un système informatique portatif restent à définir. C'est l'objet du présent article.

2 PROBLEMATIQUE DU DEPLACEMENT DES DEFICIENTS VISUELS EN MILIEU URBAIN

Deux problèmes différents doivent être distingués dans l'activité de déplacement des déficients visuels : la locomotion et le guidage. La maîtrise de la locomotion concerne la capacité de se déplacer de façon autonome dans l'espace proximal, et repose sur la détection des obstacles, le maintien de trajectoire, le repérage auditif, tactile et proprioceptif dans l'espace. En milieu urbain, une locomotion maîtrisée permet à un déficient visuel un déplacement autonome dans un environnement connu. Pour assister cette locomotion, les déficients visuels ont recours au chien-guide (très minoritairement, quelques milliers de chiens-guides seulement en France) ou à la canne (en très grande majorité). Les systèmes d'aide à la locomotion tels que le Sonic Path Finder (McKinley, Goldfarb et Goodrich, 1994) qui présente une reconstitution de l'environnement par des informations sonores n'ont pas à ce jour trouvé leur utilité dans la vie quotidienne des déficients visuels (pour une revue des aides électroniques à la locomotion, voir Loomis, Golledge et Klatzky, sous presse).

Le guidage (plus précisément la capacité d'être guidé) est la capacité à réaliser un parcours autonome en milieu urbain connu ou inconnu à l'aide d'instructions de guidage fournies par un tiers. Cette capacité repose sur la maîtrise de la locomotion, et ne peut s'y substituer. Cependant, les instructions de guidage fournies doivent, pour être utilisables, prendre en considération les stratégies perceptivo-motrices et cognitives utilisées par les non-voyants pour se déplacer, et les limitations engendrées par le handicap visuel. Les instructions fournies aux déficients visuels par les instructeurs de locomotion spécialisés ou par les déficients visuels eux-mêmes, sont, on le sait, parfaitement utilisables pour le déplacement dans des environnements urbain inconnus.

Dans le but de pouvoir faire produire par un système informatique portatif localisé des descriptions efficaces, l'objectif du travail décrit dans cet article est de proposer des règles adaptées à la fois aux besoins des personnes guidées et aux capacités et limites des systèmes informatiques actuels; ces règles sont basées sur l'analyse des instructions de guidage transmis à un déficient visuel par un autre déficient visuel.

3 LA LOCOMOTION DES DEFICIENTS VISUELS EN MILIEU URBAIN

En l'absence de vision, les informations utilisées pour la locomotion sont de nature auditive, tactile, proprioceptive et olfactive (Strelow, 1985; Thinus-Blanc, et Gaunet, 1997). L'information sonore est utilisée pour situer des voies routières à l'aide du flux de circulation, mais aussi pour situer les obstacles et assurer le suivi des murs (echo-localisation). L'information tactilo-proprio-kinesthésique, est issue des données fournies par le contact des pieds et de la canne sur le sol, par les mouvements

du chien, et éventuellement par des explorations manuelles, mais aussi de la détection des variations de pression de l'air associées à la présence d'obstacles. Elle est utilisée pour détecter les changements de niveaux qui renseignent sur la présence de bateaux, de sortie de parking et de trottoir. L'information proprioceptive -issue des étirements des muscles et des stimulations perçues par le système vestibulaire- permet l'intégration de trajet (calcul des distances et des orientations) et le contrôle d'un déplacement guidé.

A partir de ces éléments, deux problèmes sont particulièrement délicats (AVH, 2000; Foulke, 1971; Hill, 1976) : localiser l'endroit de traversée d'une rue et le repérage dans l'espace.

Les déplacements sont assistés par l'utilisation de la canne blanche ou du chien-guide. Le chien-guide avantage largement le piéton : la détection des obstacles (piétons, arbre, poteaux, poubelles, boîte à lettre, etc.) et la recherche des passages piétons sont complètement pris en charge par le chien alors qu'avec une canne, la personne mobilise ses ressources attentionnelles pour suivre la trajectoire et détecter des obstacles. Le facteur stress est également essentiel, un déplacement sans chien étant plus dangereux, plus lent et plus aléatoire.

4 LE GUIDAGE DES DEFICIENTS VISUELS EN MILIEU EN MILIEU URBAIN

Le guidage d'un non-voyant peut être fait par plusieurs méthodes :

- guidage par le chien, dans le cas où celui-ci connaît l'itinéraire
- guidage au bras par un accompagnateur
- guidage sur la base d'une description fournie avant le départ pour tout le trajet
- guidage par une description incrémentale fournie pendant le trajet

Les descriptions d'itinéraires sont classiquement fournies sous forme verbale, gestuelle et graphique (Denis et Briffault, 2000; Chalmé et al., 2000). La modalité gestuelle est inexploitable par les déficients visuels. La modalité graphique, par exemple sous la forme de carte tactile, peut permettre à une personne de se repérer mais est difficilement utilisable (Espinosa et al., 1998), en particulier dans une situation de locomotion où l'une des deux mains est nécessairement utilisée pour la canne ou le chien. La modalité verbale est donc la seule utilisable. Le mode de transmission est l'écrit ou l'oral. Pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment, l'utilisation d'un support écrit est difficile pendant le déplacement. Par ailleurs, tous les déficients visuels ne maîtrisent pas le braille. Les descriptions les plus adaptées pour parcourir des itinéraires inconnus sont donc celles fournies verbalement, à l'oral. C'est le cas rencontré le plus communément. En effet, les déficients visuels familiers d'un itinéraire et les instructeurs de la locomotion fournissent des descriptions d'itinéraires utilisables par d'autres personnes, voyantes ou déficientes visuelles. Ces descriptions sont fonctionnelles. En revanche les temps de parcours peuvent être variables selon les compétences de la personne déficiente visuelle à utiliser correctement les informations, en particulier les informations auditives liées au trafic automobile, aux murs de bâtiments pour effectuer les réorientations et les informations auditives et tactiles pour réaliser une traversée de rue. De l'aide aux passants peut-être demandée pour la réalisation de certaines traversées de rues, comme par exemple les traversées en deux temps avec un îlot à parcourir. En raison de contraintes de mémorisation évidentes, la description n'est pas fournie dans sa totalité avant le départ. Les descriptions sont donc fournies et utilisées incrémentalement pendant le trajet, sous forme orale.

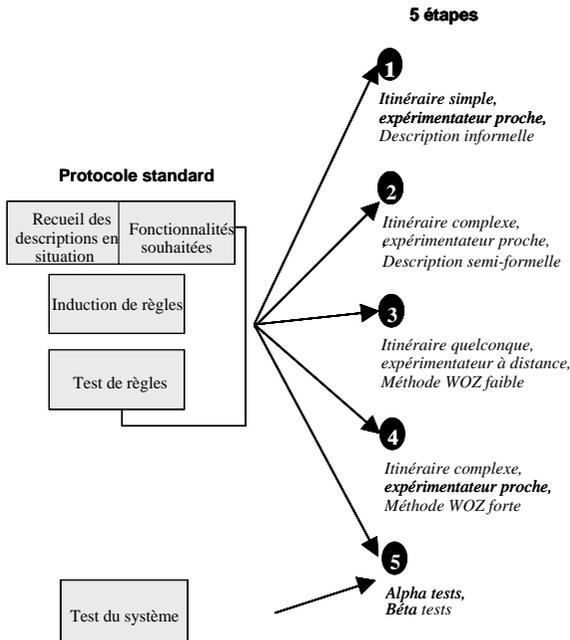
Dans le cas d'un système informatique, nous proposons donc de fournir les descriptions sur le mode verbal-oral et la synthèse vocale sera donc le média privilégié¹. L'étude que nous décrivons ci-dessous a donc pour objectif précis de déterminer la forme, le contenu et les conditions de délivrance d'instructions de guidage verbales fournies pendant le trajet par une synthèse vocale.

Les descriptions fournies par un système informatique d'aide à la navigation répondent à des contraintes différentes de celles qui peuvent être élaborées par une personne. En effet, la description élaborée par une personne repose sur ses perceptions sensorielles (tactiles, proprioceptives et sonores), auxquelles un système informatique n'a pas accès. Les règles de guidage devront donc être fondées sur les règles spontanément utilisées entre les personnes, mais adaptées aux contraintes logicielles, matérielles et aux éléments disponibles dans les bases de données géographiques. Une certaine adaptation du déficient visuel aux règles proposées sera donc nécessaire par rapport au guidage dit naturel.

¹ L'utilisation intensive de l'audition pour le déplacement pose cependant des problèmes additionnels sur le type d'écouteur qui pourra être utilisé. Des écouteurs n'obturant pas le conduit auditif sont probablement les plus adaptés.

5 METHODOLOGIE ADOPTÉE

Les informations présentées ci-dessus sont relatives à des processus cognitifs et perceptivo-moteurs généraux, indépendants de l'activité de déplacement. Notre objectif initial était de synthétiser ces connaissances, issues pour la plupart des travaux en psychologie cognitive, selon la méthode traditionnelle de la psychologie expérimentale, en les complétant par des études additionnelles, sur les processus généraux et par du recueil d'information auprès d'experts (instructeurs de locomotion). Cette orientation méthodologique initiale n'a malheureusement pas donné les résultats escomptés. Les interviews (hors contexte de déplacement effectif) de personnes déficientes visuelles et d'instructeurs de la locomotion sur les règles présidant au guidage verbal efficace des déficients visuels ne nous ont pas permis d'obtenir des informations utilisables. Les connaissances générales sur la cognition spatiale chez les aveugles, acquises pour la plupart en laboratoire sont totalement inexploitable dans des situations réelles. L'analyse purement linguistique des échanges de guidage entre personnes aveugles ne permet pas l'induction des règles générant ces descriptions, et ne prend pas en compte les incontournables limitations des systèmes informatiques qui obligent à modifier la situation d'interaction². Nous avons donc été conduits à proposer une méthodologie différente, fondée sur l'analyse de la production d'instructions de guidage, *durant l'activité de déplacement*. Le guidage s'inscrit en effet dans une activité de déplacement, qu'il ne prescrit pas, mais dans laquelle il intervient comme une ressource supplémentaire. L'étude du guidage en situation de déplacement dans un environnement réel ainsi que celle de la locomotion indépendante s'impose. Nous avons donc choisi de conduire les 5 étapes d'investigation suivantes (figure 1) :



² Un courant de recherche, dans lequel nous nous sommes inscrits pendant plusieurs années, considère la situation d'interaction humain-humain comme le paradigme idéal pour la conception de systèmes d'interactions humain-ordinateur. Cette orientation nous paraît aujourd'hui dénuée de fondements et sans possibilités d'applications pratiques. Notre approche est désormais de travailler sur la situation spécifique de l'interaction homme-machine, en observant les perturbations engendrées dans une situation d'interaction naturelle, humain-humain, par l'introduction progressive des caractéristiques d'un artefact informatique.

Figure 1 : Etapes d'investigations. Un protocole standard -recueil des descriptions en situation et des fonctionnalités souhaitées, induction de règles et test de règles- est appliqué dans chacune des 5 étapes.

Etape 1 : *Les descriptions d'itinéraires produites par un déficient visuel familier d'un itinéraire, qu'il destine à un autre déficient visuel, sont collectées; des règles de guidage en sont extraites et l'efficacité de ces règles est immédiatement testée.*

Dans un premier temps, le déficient visuel et l'expérimentateur parcourent ensemble un itinéraire connu du déficient visuel et inconnu de l'expérimentateur; ce dernier se trouve 1 mètre devant le déficient visuel qui lui fournit les instructions incrémentalement. L'expérimentateur relève chaque instruction, réalise l'action correspondant à l'instruction jusqu'au terme du parcours. Le guidage par le déficient visuel est réalisé avec une précision d'environ 5 mètres.

Dans un deuxième temps, l'expérimentateur demande au déficient visuel les fonctions dont il souhaiterait disposer dans un système de guidage. Enfin, dans un troisième temps, des règles de guidage sont extraites des instructions produites : l'expérimentateur analyse les relations entre les descriptions d'itinéraires produites et les configurations de l'environnement urbain associées. La formulation utilisée pour un type de configuration est utilisée lorsque la même configuration se présente pour un nouvel itinéraire. Les règles sont appliquées à un itinéraire inconnu du déficient visuel : après une pause de 15 minutes permettant à l'expérimentateur de synthétiser les informations obtenues à partir des deux premières expérimentations, de concevoir les règles de guidage correspondantes et de les appliquer à un itinéraire connu de l'expérimentateur et inconnu du sujet, une liste d'instructions est produite pour un itinéraire inconnu du sujet. Puis, l'efficacité de cette liste d'instruction est testée : les erreurs de parcours sont relevées puis l'expérimentateur et le sujet analysent ensemble les échecs et proposent de nouvelles règles de guidage. Le guidage par l'expérimentateur est réalisé avec une précision d'environ 5 mètres. Les résultats obtenus dans l'étape 1 sont analysés et synthétisés pour affiner les règles de guidage.

De nombreux biais existent à ce niveau : la présence physique de l'expérimentateur, ressentie par le sujet, lui fournit de précieuses informations non verbales, dont la portée est accrue par les capacités auditives des aveugles. L'expérimentateur ne peut produire en temps réel des descriptions systématiques issues des règles, et introduit donc des variations en fonction de ses implicites. Les variations de ton, de rythme des descriptions fournies par l'expérimentateur renseignent le sujet sur la proximité d'une rue, d'un passage dangereux, de véhicules...

Etape 2 : Les règles sont testées auprès de déficients visuels sur un itinéraire comportant à la fois des portions de parcours sans difficulté (quartiers calmes, rues en croix, traversées sans îlots, ...) mais également quelques difficultés comme le parcours de rues piétonnes, d'escalier, de place à grand trafic automobile mais sans passage piétons avec îlots, ...). Les résultats obtenus dans l'étape 2 sont analysés et synthétisés pour affiner les règles de guidage. Les biais sont identiques à ceux de l'étape 1.

Etape 3 : Un parcours d'itinéraire présentant des difficultés similaires et nouvelles est testé, mais le guidage s'effectue par un expérimentateur se tenant à distance à l'aide d'un talkie-walkie. Ce protocole élimine la possibilité que le sujet utilise des informations liées à la proximité physique de l'expérimentateur. Cependant, les autres biais subsistent. Les résultats obtenus dans l'étape 3 sont analysés et synthétisés pour affiner les règles de guidage.

Etape 4 : L'Etape 3 est reproduite sur un nouvel itinéraire avec des difficultés similaires, mais les descriptions sont engendrées par un système informatique, et retransmises par talkie-walkie au sujet. L'expérimentateur ne voit plus le participant; la position du sujet est transmise au guideur par un GPS. Ce protocole lève les biais de l'étape 3. Le dernier biais restant est alors que le sujet ne manipule pas directement le système, ce qui diminue sa charge et rend la tâche plus aisée.

Etape 5 : Ce dernier biais est levé, en fournissant au participant le système portatif qu'il doit alors manipuler lui-même lors du parcours d'un nouvel itinéraire. Dans cette étape, on s'intéressera aux fonctions nécessaires pour interagir avec le système.

En parallèle, une *analyse de la locomotion indépendante* est réalisée auprès d'instructeurs de locomotion afin de recueillir une expertise plus poussée sur le modèle utilisateur : quelles sont les informations auditives et tactiles utilisées pour trouver un passage piéton, un feu, pour décider de traverser, pour identifier la configuration d'une intersection simple et complexe, ...

6 ETUDE : ETAPE 1

Jusqu'à présent, ont été conduites les études relatives à l'étape 1 et 2. Nous présentons ici l'étude relative à l'étape 1 qui a été conduite à Paris, sur une population de 8 personnes atteintes de cécité totale, et utilisant une canne blanche (cas le plus difficile). Les parcours sont réalisés dans des quartiers résidentiels et des quartiers commerçants très fréquentés.

Les données obtenues pour chaque sujet ont été compilées pour obtenir des règles générales.

6.1. Production de descriptions d'itinéraires

Les productions de descriptions d'itinéraires fournissent chacune des spécifications qui se recourent pour une large part : tous les sujets mentionnent des fonctions de guidage identiques. En revanche, la différence entre les sujets porte sur le niveau de détail de chaque fonction.

La synthèse de l'analyse des productions de descriptions d'itinéraires permet d'identifier les fonctions suivantes :

- **Fonction de localisation et d'orientation** : quelle que soit la position du déficient visuel, la description détaillée de la position (rue, numéro de bâtiment et/ou bâtiments spécifiques, le nombre de voies urbaines, le sens de circulation des véhicules, le sens de parcours de la personne par rapport au sens de circulation des véhicules) et de l'orientation sont fournies. Cette fonction doit être accessible en permanence. Cette fonction permet au déficient visuel de pouvoir confirmer sa position et son orientation en se basant sur sa perception et en demandant confirmation aux passants
- **Fonction de progression** : l'action de progression dans une rue est explicitement prescrite
- **Fonction de description de l'intersection** : le niveau de l'intersection (simple, moyenne, complexe), le sens de parcours de l'intersection et la description horaire des voies sont fournies (toutes ou seulement les rues parcourues sont mentionnées)
- **Fonction de réorientation dans une rue** : l'instruction de s'engager dans une rue située sur le même trottoir est explicitement fournie
- **Fonction d'annonce de traversée** : le prochain passage protégé à parcourir est explicitement prescrit (un temps, deux temps sur îlot, ...) et le niveau de difficulté du passage protégé est mentionné
- **Fonction recherche de passage piéton** : mentionne que le passage doit être recherché
- **Fonction de réorientation sur place** : des informations sur l'orientation par rapport à la trajectoire attendue et l'orientation à suivre sont fournies
- **Fonction d'annonce d'intersection** : l'approche d'une intersection est explicitement prescrite
- **Fonction de réorientation après traversée** : la nature de l'orientation à prendre après la traversée est prescrite
- **Fonction de mention de l'arrêt du parcours** : l'atteinte du but est explicitement mentionnée

Le tableau ci-dessous montre, dans la première colonne, les fonctions de guidage qui ont été identifiées après analyse des productions de descriptions d'itinéraires par l'ensemble des sujets. La deuxième colonne du tableau montre quelques exemples des différentes instanciations des fonctions.

Fonction	Les différents contenus des fonctions observés
A. localisation et orientation	Vous êtes au 10 de la rue de Tréville Vous êtes dos à la mairie On est devant le café Européen C'est une rue à double sens, vous allez dans le sens contraire des voitures, vous êtes sur le trottoir de gauche
B. progression	Avancer Suivre le pan coupé Faire 2 pas Descendre les escaliers
C. description de l'intersection	A 8 h, il y a la rue Pelleport, à 12h la rue Belgrand, à 3h la rue Pelleport, et à 6h la rue Belgrand La rue de la Mouzaia coupe la rue des Lilas
D. réorientation dans une rue	Tourner à droite prendre la rue à droite
E. annonce de traversée	On traverse la rue Traversière On traverse la rue du Faubourg St Antoine sur notre gauche On passe 2 rues C'est une traversée en deux temps
F. recherche de passage piéton	Chercher le passage Trouver le passage piéton à droite
G. réorientation sur place	Tourner d'un quart de tour à gauche

	Obliquer légèrement à gauche
H. réorientation après traversée	Après la traversée, tourner de 90° à gauche Traverser la rue Baudelaire sur sa gauche, continuer tout droit dans la rue St Antoine
I. annonce d'intersection	Vous arrivez à une intersection A 30m, il y a une intersection
J. mention de l'arrêt du parcours	On est à l'Opéra On continue jusqu'au n°157

Tableau 1 : les 10 fonctions et les différentes instanciations de chaque fonction

6.2. Questionnaire

A la question : " *quelles sont les fonctions qui vous paraissent fondamentales à intégrer dans un système d'aide à la navigation ?*", les sujets ne mentionnent que 6 des fonctions identifiées ci-dessus, mais mentionnent par ailleurs 5 nouvelles fonctions (voir les cinq dernières lignes du tableau 2). Le questionnaire complète donc l'étude des productions de descriptions d'itinéraire.

Les fonctions supplémentaires demandées sont :

- Différents niveaux de détail de chaque fonction doivent être fournis (K) : les déficients visuels ont des capacités de repérage différentes et l'utilisation de différents niveaux de détail permet à un système automatique de guidage de s'adapter à chaque utilisateur.
- Des itinéraires de contournement sont vivement souhaités pour les cas où les itinéraires seraient complexes (L).
- Les déficients visuels détenteurs d'une canne blanche expriment leur difficulté à trouver les passages piétons et souhaitent une aide à la localisation des passages protégés. Ce n'est pas le cas pour les personnes se déplaçant avec un chien-guide. Les escaliers doivent également pouvoir être annoncé (M) et la mention de la largeur des trottoirs aiderait le choix de la stratégie de maintien de la trajectoire : suivi de mur ou de bord de trottoir, selon la configuration de l'environnement (N).
- Enfin, tous mentionnent finalement qu'ils souhaitent qu'une fonction accessible à tout moment (O) -alors qu'ils sont engagés dans un parcours spécifique- leur fournisse la localisation des commerces et bâtiments spécifiques les plus proches, la description de l'environnement immédiat (configuration des voies).

Le tableau 2 ci-dessous synthétise les données obtenues auprès de l'ensemble des sujets.

Fonctions mentionnées par les sujets	Nombre de sujets ayant mentionnés ces fonctions
A. localisation et orientation	8
B. progression	8
C. description de l'intersection	8
D. réorientation dans une rue	8
E. annonce de traversée	8
F. recherche de passage	8
K. différents niveaux de détail des descriptions	5
L. itinéraire de contournement	3
M. escaliers et passages piétons	1
N. taille des trottoirs	1
O. description environnement	2

Tableau 2 : à gauche, les fonctions souhaitées, mentionnées verbalement par les sujets; à droite, le nombre de sujets ayant mentionné ces fonctions

Pour terminer, la fonction suivante, proposée par l'expérimentateur, devra enfin être considérée :

- **Fonction d'entrée du lieu de départ et de la destination (P)** : cette fonction permet la saisie des points de départ et d'arrivée du trajet de l'utilisateur

6.3. Utilisation de descriptions d'itinéraires

Les fonctions ont été appliquées et testées sur des parcours allant de quartiers résidentiels calmes aux quartiers commerçants très fréquentés. La figure 2 montre un parcours inconnu sur lequel un non-voyant a été guidé avec succès. Le tableau 3 montre les descriptions utilisées pour le guidage à partir des règles induites.



Figure 2 : Itinéraire inconnu d'un non-voyant

Description fournie au sujet	Fonctions de guidage
Vous êtes à l'intersection de l'avenue du Général Leclerc et de la rue de Sarette. Vous êtes sur le trottoir de gauche de l'avenue du Général Leclerc.	Localisation et orientation
Traversez la rue de Sarette	Annonce de traversée
Prendre la rue à gauche, la rue Beaunier	Réorientation dans une rue
Avancez dans la rue Beaunier	Progression
Prendre à gauche dans la rue du père Corentin	Réorientation dans une rue
Prendre à gauche dans la rue Prisse d'Avenet	Réorientation dans une rue
Traversez la rue en face, la rue de Sarette	Annonce de traversée
Faire ¼ de tour sur soi à droite	Réorientation sur place
Avancer dans la rue de Sarette	Progression
Traversez en face la rue A. Daudet	Annonce de traversée
Faire ¼ de tour sur soi à gauche	Réorientation sur place
Vous êtes sur le trottoir de droite de la rue A. Daudet	Localisation et orientation
Avancer dans la rue A. Daudet	Progression
Prendre à droite dans la rue Leneveux	Réorientation dans une rue
Avancer dans la rue Leneveux	Progression
Prendre à droite dans la rue Focillon	Réorientation dans une rue
Avancer dans la rue Focillon	Progression
Vous arrivez à une intersection	Annonce d'intersection
Faire ¼ de tour à gauche	Réorientation sur place
Traversez la rue Fauçillon	Annonce de traversée
Prendre à gauche dans la rue de Lumain	Réorientation dans une rue
Faire ¼ de tour à gauche	Réorientation sur place
Traversez la rue en face, la rue Marguerin	Annonce de traversée
Vous êtes dans la rue d'Alésia, sur le trottoir de gauche	Localisation et orientation
Avancer dans la rue d'Alésia	Progression
Vous arrivez à une intersection	Annonce d'intersection
Traversez la rue d'Alésia sur votre droite	Annonce de traversée
C'est un passage piéton à deux temps, avec un flot	Description passage
Vous êtes arrivé	Mention de l'arrêt du parcours

Tableau 3 : Description fournie au déficient visuel et fonctions de guidage correspondantes

De façon générale, les règles sont fonctionnelles dans le cas de parcours réalisés dans des quartiers résidentiels comportant des rues, des petites intersections à 4 ou 5 branches (exemple : voir l'intersection simple sur la figure 2) des traversées à un temps situées en bout de chaussée. A titre d'exemple, l'intersection du Bd Saint Michel et du Bd Saint Germain peut être parcourue. On note une petite difficulté pour les personnes se déplaçant avec une canne blanche pour repérer l'emplacement du passage protégé lors du parcours d'intersections asymétriques dans des quartiers résidentiels.

En revanche, on note l'impossibilité de réaliser les parcours de grandes (exemple : place Saint Michel) et très grandes intersections (exemple : place Opéra-Bastille) en particulier lorsque les passages piétons ne sont pas situés en bout de chaussées et que les traversées sont à deux ou trois temps.

7 CONCLUSION

Cette étude présente une démarche visant à déterminer les prescriptions verbales de guidage nécessaires aux déplacements orientés de déficients visuels dans une ville inconnue.

Les données issues de la psychologie cognitive ne nous ayant pas permis d'obtenir des informations utiles pour répondre à notre objectif, nous avons proposé une démarche générale en 5 étapes, permettant d'affiner les règles de guidage tout en éliminant progressivement les biais liés à l'intervention de l'expérimentateur et de l'ordinateur dans la tâche de déplacement. Cette démarche commence par l'analyse de la situation naturelle dans laquelle les déficients visuels se guident entre eux dans le cadre de leurs activités quotidiennes (communication homme-homme), en passant par le guidage verbal réalisé via une simulation de système final (méthode dite du Wizard of Oz) puis par le système final.

Grâce à la première étape de cette étude, comportant trois phases -production de descriptions d'itinéraires, questionnaire et utilisation de descriptions d'itinéraires- nous avons pu identifier les principales fonctions de guidage permettant à des personnes déficientes visuelles de trouver leur chemin dans un environnement urbain inconnu. La démarche adoptée a prouvé son intérêt. En effet, la complémentarité de l'étude comportementale et de l'interview apparaît clairement : durant l'interview, les sujets ne décrivent pas spontanément les fonctions qu'ils utilisent en situation. Par ailleurs, l'étude comportementale, limitée par les situations rencontrées, ne permet pas de faire émerger toutes les fonctions jugées utiles (et vérifiées comme telles par la suite). L'importance de réaliser l'interview immédiatement après la mise en situation apparaît donc clairement. Finalement, l'évaluation sur un parcours inconnu des informations recueillies a permis d'identifier une quinzaine de fonction (A à P, cf. section 6.). Les impossibilités de parcours de certains trajets conduisent à envisager une fonction supplémentaire de choix de la difficulté du parcours que l'utilisateur veut parcourir avant le début du parcours et en cours de parcours (Q) ainsi qu'une fonction de vérification de la trajectoire de l'utilisateur (R).

Les fonctions identifiées ici sont utilisables pour des parcours réalisés dans des quartiers résidentiels impliquant des rues, des petites intersections et des traversées à un temps. Ce guidage est réalisé à 5 mètres près. Différents niveaux de détail sont nécessaires pour chaque fonction pour répondre aux différents profils utilisateurs : personne avec chien-guide, avec canne blanche et bonne orientation spatiale et avec canne blanche et mauvaise orientation spatiale, degré de connaissance de l'environnement, du système...

Cette expertise acquise sur le guidage des déficients visuels, apporte en outre des éléments précis sur les caractéristiques techniques indispensables d'un système de guidage, en particulier en ce qui concerne le degré de précision de la localisation et de l'orientation ainsi que les éléments à ajouter dans les bases de données géographiques, par rapport aux bases de données utilisées pour les systèmes d'aide à la navigation automobile ou pour les piétons voyants :

- l'ambiguïté de certaines situations lors des déplacements en ville (e.g. places complexes) rend plus confortable la localisation à un mètre près et l'orientation à quelques degrés près, en particulier pour pouvoir localiser précisément les passages piétons. Cependant, le guidage à 5 mètres, voire 10 mètres et plus est possible : les déficients visuels se guident déjà entre eux sans GPS !

- passages piétons et leurs caractéristiques, feux, ...

En conclusion, cette étude préliminaire confirme qu'avec quelques ajouts aux bases de données de navigation actuellement disponibles et une précision de localisation à 10 mètres près, un système de guidage verbal informatique permettant à des personnes déficientes visuelles de se déplacer dans un environnement urbain inconnu est réalisable. Cette étude montre également que pour guider dans des environnements urbains complexes, ce sont les niveaux de détails et la précision de localisation qui doivent être améliorés.

Sur le plan méthodologique, cette étude montre selon nous l'importance, pour la réalisation de systèmes informatiques efficaces, d'une analyse détaillée de l'activité réelle des usagers, dans laquelle le système devra venir s'insérer. Cette orientation méthodologique, souvent préconisée, mais rarement réellement mise en œuvre, impose de prendre en considération les perturbations engendrées par le système informatique lui-même dans cette activité. L'activité à prendre en considération pour réaliser un nouveau système n'est pas l'activité initiale (sans le système) mais l'activité finale (avec le système). Cet apparent paradoxe est résolu par l'utilisation des méthodes de type magicien d'Oz à plusieurs étapes, telle que celle que nous avons proposée. Appliquée ici à un cas relativement simple, cette méthodologie peut selon nous également être appliquée dans des domaines plus complexes, le risque d'échec d'un outillage informatique inadapté étant d'ailleurs d'autant plus grave dans une situation complexe.

8 BIBLIOGRAPHIE

- AVH (Association Valentin Haüy) (2000). Groupe des instructeurs de la locomotion, communication personnelle.
- Brusnighan, D. A., Strauss, M. G., Floyd, J. M. et Wheeler, B. C. (1989). *Orientation aid implementing the Global Positioning System*. In S. Buus (Ed.), *Proceedings of the Fifteenth Annual Northeast Bioengineering Conference*, pp. 33-34. Boston: IEEE.
- Chalmé, S., Briffault, X., Denis, M., Gaunet, F. et Nathan, F. (2000). Aides verbales à la navigation automobile : L'impact des instructions directionnelles sur le comportement d'un pilote à l'approche de carrefours. *Le Travail Humain*, 63, 4, 353-376.
- Denis, M. et Briffault, X. (2000). Analyse des dialogues de navigation à bord d'un véhicule automobile. *Le Travail Humain*, 63, 1, 59-88.
- Espinosa, A., Ungar, S., Ochaíta, E., Blades, M. et Spencer, C. (1998). Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to unfamiliar urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 18, 277-287.
- Foulke, E. (1971). The perceptual basis for mobility. *Research Bulletin of the American for the Blind*, 23, 1-8.
- Fruchterman, J. (1996). *Talking maps and GPS systems*. Paper presented at *The Rank Prize Funds Symposium on Technology to Assist the Blind and Visually Impaired*, Grasmere, Cumbria, England, March 25-28, 1996.
- Golledge, R. G., Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Speigle, J. et Tietz, J. (1998). A geographical information system for a GPS based personal guidance system. *International Journal of Geographical Information Science*, 12, 727-749.
- Hill, E.W. (1976). *Orientation and mobility : A guide for the practionner*. New York : American Foundation for the Blind.
- Hughes, J-F (1989). *Déficiência visuelle et Urbanisme, L'accessibilité de la ville aux aveugles et mal-voyants*, Ed Jacques Lanore.
- Loomis, J. M., Golledge, R. G. et Klatzky, R. L. (1998). Navigation system for the blind : Auditory display modes and guidance. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 193-203.
- Loomis, J., Golledge, R.G. et Klatzky, R.L. (sous presse). GPS-based navigation systems for the visually impaired. In W. Barfield and T. Caudell (Eds.), *Principles and Applications of Augmented Virtual Environments*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.

- McKinley J., Goldfarb E. & Goodrich G. (1994). *An Evaluation of the Sonic Pathfinder*. Proceedings of the 7th. International Mobility Conference, Melbourne. RGDAA, Melbourne. pp. 177 - 179.
- Petrie, H., Johnson, V. Strothotte, T. Raab, A., Fritz, S. et Michel, R. (1996). MoBIC : designing a travel aid for blind and elderly people. *Journal of Navigation*, 49, 45-52.
- Strelow, E. R. (1985). What is needed for a theory of mobility : Direct perception and cognitive maps --lessons from the blind. *Psychological Review*, 92, 226-248.
- Thinus-Blanc, C. et Gaunet, F. (1997). Space representations in the blind : Vision as a spatial sense ? *Psychological Bulletin*, 121, 20-42

Remerciements

Nous remercions la Fédération des Aveugles de France et l'association Valentin Hauÿ -en particulier Janet Green- de nous avoir mis en contact avec des personnes déficientes visuels.

Description d'itinéraires: Effets du modèle de l'interlocuteur. Détailler les moyens ou se restreindre au but à atteindre

**Matthieu Grall
Willemien Visser**

EIFFEL - Cognition & Coopération en Conception
INRIA – Unité de recherche Rocquencourt
78153 LE CHESNAY CEDEX (FRANCE)
email: Willemien.Visser@inria.fr

RÉSUMÉ

Ce texte décrit comment le modèle qu'une personne a de son interlocuteur oriente la description qu'elle lui donne d'un itinéraire à effectuer. Une description pour un interlocuteur ne connaissant pas l'environnement à traverser est plus détaillée que celle qui est destinée à un interlocuteur connaissant bien cet environnement. Elle est plutôt centrée sur les moyens pour atteindre les (sous-)buts, par le biais d'instructions détaillées. La description pour un connaisseur suppose qu'une simple présentation du but permet à l'interlocuteur d'évoquer lui-même les moyens pour atteindre ce but: elles fournissent des consignes générales, peu développées. Ces différences sont interprétées en termes des besoins différenciés des interlocuteurs pour effectuer des procédures de réalisation d'itinéraires.

MOTS-CLÉS

Description, Modèle de l'interlocuteur, Itinéraire, Sémantique de l'action, Assistance à la navigation automobile.

1 INTRODUCTION

Comme pour d'autres tâches complexes au niveau cognitif, des systèmes d'assistance sont proposés pour la conduite automobile. Pour que de tels systèmes soient utiles et utilisables, leur spécification doit s'appuyer sur des études d'ergonomie cognitive concernant les activités effectives des conducteurs. Jusqu'à bien récemment, les études dans ce domaine étaient restreintes à certains aspects de la conduite (comme d'ailleurs les systèmes d'assistance), la commande physique de la conduite, en particulier. Il en va ainsi de l'activité de planification lors de la conduite. Il s'agit pourtant d'une composante cognitive importante dans l'activité des conducteurs. Elle intervient notamment dans la navigation, qui est l'activité centrale du niveau "stratégique" de la conduite (Bellet, 1998; Forzy & Truc-Martini, 1994; Tattegrain-Veste, Bellet, Pauzié & Chapon, 1996). De nombreux systèmes sont développés comme outils d'assistance à la navigation, mais ils sont, à peu d'exceptions près, sans rapport avec les caractéristiques cognitives des conducteurs. Dans d'autres domaines que la conduite, les études sur la planification en tant que conception de plans (vs. mise en œuvre de ces plans) manquent également, et les rares travaux qui existent sont anciens (Byrne, 1977; Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1979).

1.1. Contexte de l'étude: Planification et Assistance à la navigation

Des modèles de la conduite prenant en compte ses composantes cognitives (Bellet, 1998; Tattegrain-Veste et al., 1996) distinguent trois niveaux: le contrôle du véhicule, la gestion de l'environnement de la conduite et la navigation, c'est-à-dire l'orientation dans l'environnement.

Depuis 1998, nous avons commencé des études sur la navigation et son assistance. Nous travaillons notamment sur deux composantes des activités de navigation, l'élaboration de plans et leur

mise en œuvre. Ces recherches se déclinent en deux sous-thèmes: la modélisation cognitive de la planification et la coopération entre utilisateur et système d'assistance.

À côté de la modélisation des processus cognitifs mis en œuvre dans la planification, nous utilisons plusieurs approches pour spécifier des systèmes d'assistance. Dans ce texte, nous nous concentrons sur les modalités de coopération entre utilisateur et système d'assistance, et plus particulièrement sur les aspects langagiers de l'interaction.

1.2. Coopération entre utilisateur et système d'assistance: les aspects langagiers de l'interaction

Un des aspects centraux dans une situation de coopération entre un utilisateur et un système d'assistance à la navigation est celui de la présentation de l'itinéraire à effectuer.

Des études ont été conduites ces dernières années sur ce thème: description écrite ou orale, avec la possibilité ou non de recourir à des ressources sémiologiques, surtout linguistiques, gestuelles et figuratives. Différentes orientations ont présidé à ces études. Forzy et Truc-Martini (1994) ont étudié des dialogues entre des pilotes et des copilotes humains en situation (en conduite automobile). Les auteurs ont fait varier les connaissances de l'environnement à traverser que possédaient les copilotes qui indiquaient aux pilotes l'itinéraire à suivre.

Dans l'étude que nous avons conduite, nous avons cherché à identifier les composants linguistiques permettant de guider efficacement une personne ayant à effectuer un itinéraire en voiture à travers un environnement urbain complexe (Grall, 1999). Nous nous sommes centrés sur les modes de présentation de l'itinéraire, selon que la personne à qui s'adresse la description connaît ou non l'environnement.

2 EXPERIENCE: RECUEIL DES DESCRIPTIONS

Nous avons demandé à des personnes de décrire à un interlocuteur un itinéraire. Pour examiner l'effet du modèle de l'interlocuteur sur la description, nous distinguons deux types d'interlocuteurs: avec ou sans connaissances de l'environnement à traverser.

L'expérience de description a fait appel à des personnes qui venaient de planifier un itinéraire — sans savoir qu'elles auraient à le décrire ensuite à une autre personne (Chalmé, Visser & Denis, 2000). Dans l'expérience de planification, il s'agissait de concevoir un itinéraire en voiture à travers Saint Quentin en Yvelines, un environnement (sub)urbain, composé d'un mélange varié de petits bourgs et de plusieurs centres-villes, de petites routes et de grands axes. L'itinéraire servait à effectuer 11 tâches pendant une journée (départ à 10 h de la Gare de Trappes où il fallait revenir à 17 h pour y chercher un ami). Les tâches étaient à effectuer dans des lieux indiqués sur une carte de Saint Quentin, dont les participants pouvaient disposer pendant leur planification. Sur plusieurs tâches pesaient des contraintes temporelles, qui pouvaient être explicites (par exemple, "aller à un entretien de 30 min. au Technocentre de Renault à 15 h", "visiter un appartement à Elancourt avant 13 h") ou plus ou moins implicites ("déjeuner avec un ami au restaurant [indiqué sur la carte]", "acheter un bouquet chez le fleuriste [indiqué sur la carte] pour une invitation le soir" et "acheter des glaces à Picard Surgelés").

Pour éviter l'influence possible des réactions éventuelles (questions et autres) de la part des interlocuteurs, nous avons demandé aux participants de laisser leur description de l'itinéraire sur le répondeur téléphonique de l'ami qui en était le destinataire.

Participants et Procédure expérimentale. Parmi les personnes ayant participé à l'expérience de planification, nous avons retenu 16 personnes ayant de bonnes connaissances de Saint Quentin. Nous avons constitué deux groupes de huit participants (cf. ci-dessous).

Les participants disposent d'une carte de Saint Quentin avec les indications des lieux où s'effectuent les tâches, et de leurs éventuels brouillons et résultats de l'expérience de planification.

La consigne leur demande de décrire à un ami l'itinéraire qu'ils viennent de planifier: huit participants le décrivent à un ami connaissant bien Saint Quentin (les participants K et les interlocuteurs K), les huit autres à un ami ne connaissant pas du tout Saint Quentin (les participants Non-K et les interlocuteurs Non-K).

Toutes les descriptions ont été enregistrées.

3 ANALYSE DES DONNEES

3.1. Découpage des itinéraires en trajets et en sections

Nous découpons les itinéraires en "trajets": chaque trajet relie deux lieux où des tâches sont à effectuer. Lors de leur description, les participants découpent souvent, explicitement ou implicitement, ces trajets en "sections" constituées par une portion de trajet décrite comme une unité distincte. Il peut s'agir d'une portion de trajet entre deux lieux où des réorientations sont à effectuer, mais ce n'est pas nécessairement le cas: une section peut être délimitée par des lieux mentionnés sans qu'il y ait un changement d'orientation à effectuer.

3.2. Formatage des protocoles: épuration et homogénéisation

Les protocoles résultant de la transcription des descriptions ont été "épurés".

Les descriptions des premiers et derniers trajets ont été retirées des protocoles, car elles sont souvent atypiques: en général plus courtes, elles ne mentionnent souvent pas l'origine ou la destination (dans les deux cas, la gare).

Nous avons retiré des descriptions restantes:

- les questions à l'expérimentateur (et leur réponse). Par exemple, "Ça suffit comme niveau de détail ou pas?" et la réponse "C'est à vous de décider du niveau de détail de votre description".
- les répétitions. "De la gare de Trappes tu te rends euh...tu te rends donc euh... Alors de la gare de Trappes donc, tu te rends à la médiathèque qui se trouve sur Elancourt" sera transformé en "De la gare de Trappes tu te rends à la médiathèque qui se trouve sur Elancourt".
- les formules interlocutoires (c'est-à-dire, les "moyens linguistiques auxquels les interlocuteurs ont recours pour réguler leur relation interlocutive", Araújo Carreira, 1997, p. 89). Par exemple, dans l'énoncé cité ci-dessus, des interjections ("euh") ou des expressions comme "donc" et "alors".
- les modalisations des propos (Pottier, 1992). Par exemple, dans "Je suppose que tu en auras pour 15 minutes", nous ne retenons que "Tu en auras pour 15 minutes". Dans "Normalement, tu dois mettre 20 minutes", nous omettons de l'analyse "normalement".

Nous avons également enlevé des protocoles les erreurs de parcours qui sont corrigées par la suite: nous ne retenons que les descriptions retenues par les participants eux-mêmes. Ceci vaut pour une description avec reprise comme "Donc il sera 10 heures —non, 11 heures moins quart— quand tu arriveras à France Miniature" qui est transformée en " Donc il sera 11 heures moins quart quand tu arriveras à France Miniature". Ceci vaut également pour des corrections qui interviennent après des élaborations plus longues: quand, après une description partielle ou complète d'un trajet (ou d'une section), une personne annonce qu'elle s'est trompée et/ou qu'elle propose un autre trajet (ou section), seule la description finale est retenue.

Pour homogénéiser les descriptions résultantes, les formes verbales sont mises à l'infinitif: "Tu te rends à la médiathèque" est transformé en "Se rendre à la médiathèque". "Donc on va passer par le chemin numéro 7" est transformé en "Passer par le chemin numéro 7".

3.3. Découpage des protocoles en segments

Les protocoles sont ensuite découpés en segments descriptifs d'une forme proche du format (Prédicat [Arguments]) (v. l'exemple dans les Tableaux 1 et 2).

.... Ensuite, ce que tu fais, tu vas à Voisins... Tu vas visiter donc l'appartement à Voisins-le-Bretonneux. Donc euh... Puisque t'es au théâtre ce que tu fais pour retourner sur Voisins, le plus court... T'es pas loin donc tu reprends le Rond-point des Saules, après tu te diriges vers le Rond-point des Sangliers, et puis donc c'est... Là tu prends direction Voisins-le-Bretonneux. Direction Voisins-le-Bretonneux. Après tu tournes à gauche sur la route de Trappes. Et là tu vas arriver directement... directement à la Route de Châteaufort. C'est entre la Route de Châteaufort et, enfin, l'adresse, voilà. Donc au pire tu arriveras vers 10h30 admettons. Tu repars vers 11h. Après tu files à Magny-les-Hameaux...

Tableau 1. Exemple de description destinée à un interlocuteur ne connaissant pas Saint Quentin en Yvelines

Trajet n°	Section n°	Niveau	Segment
2		1	Aller à Voisins
		1	Aller visiter l'appartement à Voisins-le-Bretonneux
		1	Retourner du théâtre sur Voisins
	2.1	2	[Pour retourner du théâtre sur Voisins] Reprendre le Rond-point des Saules
	2.2	2	Se diriger vers le Rond-point des Sangliers
	2.3	2	[Au Rond-point des Sangliers] Prendre direction Voisins-le-Bretonneux
	2.4	2	Tourner à gauche sur la route de Trappes
	2.4	1	Arrivée à la Route de Châteaufort
		1	C'est entre la Route de Châteaufort et l'adresse
		1	Arrivée vers 10h30
	1	Repartir vers 11h	
3		1	Filer à Magny-les-Hameaux

Tableau 2. Formatage de la description donnée dans le Tableau 1 (pour le codage, v. ci-dessous).

3.4. Codage des protocoles

Nous nous sommes inspirés des catégories de codage proposées par Daniel et Denis (1998) dans une analyse de descriptions d'itinéraires à effectuer à pied. Sur cette base, nous avons développé différentes catégories de codage dans un mouvement itératif entre • proposition de catégories (suite à l'analyse de protocoles) et • application des codes aux protocoles (conduisant à d'éventuelles autres propositions). Les catégories finales constituent un premier résultat de l'étude.

4 RESULTATS

Nous centrons l'exposé des résultats sur l'aspect central de l'étude, c'est-à-dire les modes de description d'un itinéraire en fonction des connaissances de son interlocuteur (pour plus de détails, v. Grall, 1999). Ce sont donc des résultats d'une analyse psycholinguistique à orientation ergonomique. Il s'agit en effet de déterminer comment les participants adaptent leur description à leur interlocuteur, de telle façon que celui-ci puisse réaliser effectivement l'itinéraire décrit.

Avant de décrire ces résultats, nous présentons les catégories de codage développées à partir de celles proposées par Daniel et Denis (1998) et de l'analyse de nos protocoles.

4.1. Catégories de codage des descriptions d'itinéraires

Comme Daniel et Denis (1998), nous distinguons des segments prescriptifs et des segments descriptifs. Ces auteurs proposent quatre catégories principales: "Prescription d'Action avec référence à un Repère spatial", "Prescription d'Action sans référence à un Repère spatial", "Description de Repère spatial" et "Introduction de Repère spatial". Nous avons séparé les Références des Prescriptions d'Action. Nous distinguons en effet deux types de Repères: • des Repères temporels (pour coder des segments comme "[Tu continues] pendant 10 bonnes minutes") et • des Repères spatiaux, qui peuvent eux-mêmes être de trois types: Repères d'origine, Repères intermédiaires et Repères de destination. Chacun de ces Repères peut se combiner, en tant que Référence, avec chacun des trois types de Présentations, les Prescriptions d'action, les Descriptions ou les Introductions. Par ailleurs, nous avons créé deux autres catégories de Références: Direction à suivre et Voie à emprunter. Parmi les Références spatiales, nous avons distingué les Références toponymiques des autres. Nous avons distingué les Prescriptions d'actions de déplacement et les Prescriptions d'autres actions (comme "se garer" ou "reprenre la voiture"). A côté de ces catégories qui auraient pu être présentes dans les descriptions analysées par Daniel et Denis (1998), nous avons introduit des catégories permettant de coder des éléments absents des descriptions recueillies par ces auteurs, dû à la nature de l'itinéraire à décrire. Il s'agit des Tâches et de leurs attributs (Durée de la tâche, Heure de début de la tâche, etc.). Nous avons donc procédé à un codage plus fin que Daniel et Denis, pour regrouper ensuite des catégories dans des surcatégories.

Une dernière catégorie de codage nouvelle par rapport à celles proposées par Daniel et Denis (1998) est le "Niveau" des segments. Elle est présentée ci-dessous, dans une section à part.

4.2. Longueur des descriptions

La longueur des descriptions n'est indiquée qu'à titre illustratif, car elle dépend beaucoup de la manière de parler des sujets (leur débit, mais aussi leur tendance à introduire des éléments modalisateurs et régulateurs de l'interaction, Araújo Carreira, 1997).

Les descriptions Non-K (c'est-à-dire, destinées à des interlocuteurs Non-K) sont plus de deux fois plus longues (en durée et en nombre de segments) que les descriptions K (c'est-à-dire, destinées à des interlocuteurs K). En moyenne, les descriptions Non-K durent un peu plus de 12 minutes et comportent presque 85 segments, tandis que les descriptions K durent un peu plus de 4 minutes et demie et comportent un peu plus de 41 segments.

4.3. Différents "niveaux" de présentation et Détail des descriptions

L'analyse des descriptions a conduit à distinguer différents "niveaux" de présentation.

La présentation de niveau 1 d'un trajet présente directement le but à atteindre. Ainsi, la présentation de niveau 1 du trajet pour aller à Lx prend la forme "SE RENDRE à Lx", où "SE RENDRE" peut être exprimé par différents synonymes (par exemple, "se rendre" ou "aller"), ou peut rester implicite ("De la gare à l'appartement d'Elancourt", sous-entendu "De la gare SE RENDRE à l'appartement d'Elancourt").

La présentation de niveau 2 d'un trajet présente un moyen pour atteindre ce but. Ainsi, une présentation de niveau 2 du trajet pour aller à Lx présenté préalablement prend la forme "POUR CELA, SE RENDRE à Ly", où Ly est un sous-but de Lx, en l'occurrence un endroit intermédiaire sur le trajet pour se rendre à Lx ("POUR CELA" reste souvent implicite, ou constitue une reprise de la présentation du but).

Le Tableau 2 donné plus haut fournit des exemples de segments de différents niveaux.

Mis à part les différences interindividuelles mentionnées ci-dessus, la longueur plus grande des descriptions Non-K est due notamment au fait que ces descriptions sont plus détaillées que celles qui sont destinées à des interlocuteurs K, dans le sens qu'elles contiennent une proportion plus grande de segments de niveau 2 que les descriptions K (82 % vs. 24 %; différence significative¹). Elles contiennent, d'autre part, une proportion moins importante de segments de niveau 1 que les descriptions K (16 % vs. 73 %; différence significative).

Il y a quelques segments de niveau 0 (descriptions de l'itinéraire) et de niveau 3, mais leurs proportions sont négligeables et ne sont pas différentes pour les deux groupes. Il n'y a pas de segments de niveau supérieur.

4.4. Différences en éléments de contenu

Nous présentons ces différences de façon relative, c'est-à-dire par rapport à l'autre groupe d'interlocuteurs, ne mentionnant que celles qui sont significatives.

Les descriptions destinées aux interlocuteurs K contiennent davantage de

- introductions de tâches (13 % vs. 3 %)
- références à des repères spatiaux de destination toponymiques (11 % vs. 2 %).

Les descriptions destinées aux interlocuteurs Non-K contiennent davantage de

- prescriptions d'actions de déplacement (36 % vs. 23 %)
- références à des repères spatiaux intermédiaires (9 % vs. 2 %)
- descriptions de repères spatiaux intermédiaires (3 % vs. 0 %)
- descriptions de repères spatiaux de destination (3 % vs. 1 %)
- références à des directions à suivre (7 % vs. 2 %).

Le trajet à effectuer pour une certaine tâche peut être présenté en *introduisant* simplement la tâche: "Après la visite de l'appart, tu vas aller déjeuner avec ton ami". Une autre façon de présenter directement le but, c'est-à-dire sans expliciter les moyens de l'atteindre, consiste à donner le nom du lieu où s'effectue la tâche (*référence toponymique*). Ainsi le déjeuner au restaurant est présenté, par exemple, à un K en ne fournissant que l'adresse du restaurant: "Quand tu as fait tout ça, ... tu as

¹ Comme l'expérience fait appel à deux groupes indépendants, et que le nombre de sujets est peu élevé (8 sujets K et 8 sujets Non-K), nous avons utilisé le test non paramétrique U de Mann-Whitney. Le seuil de signification a été fixé à $\alpha = .05$ pour l'ensemble des tests.

rendez-vous avec Pierre pour aller déjeuner ... au restaurant ... avenue Albert Einstein à Trappes". Pour des K, ces modes de présentation peuvent suffire pour pouvoir effectuer les trajets en question.

Pour aider un interlocuteur Non-K à effectuer le trajet vers une destination, des *références à des repères spatiaux intermédiaires* ou à *des directions à suivre*, et des *descriptions de repères* peuvent être utiles. Les *descriptions de repères* lui fournissent le moyen de reconnaître les lieux intermédiaires ou la destination, quand il s'en approche. Étant donné que ce sont en général des actions de déplacement sur lesquelles s'appuient ces présentations des moyens, les descriptions Non-K comportent plus de *prescriptions d'actions de déplacement* que les descriptions destinées aux K.

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

L'analyse des descriptions a montré que, comme prévu, celles-ci diffèrent selon le type d'interlocuteur auxquelles elles sont adressées. Les descriptions destinées à des interlocuteurs Non-K, sans connaissances de l'environnement urbain à traverser, sont plus longues que celles qui sont destinées à des interlocuteurs K, qui connaissent bien cet environnement. Les descriptions destinées à des Non-K sont plutôt centrées sur les moyens pour atteindre les buts, fournissant des instructions détaillées (des segments de niveau 2), tandis que les descriptions pour les K supposent qu'une présentation succincte des buts permet à l'interlocuteur d'évoquer lui-même les moyens pour atteindre ces buts: elles fournissent des consignes générales, peu développées (des segments de niveau 1).

Ces résultats confirment les résultats obtenus par Kingsbury (v. Krauss & Glucksberg, 1977). Ils sont à rapprocher de diverses observations faites par Richard (1990) au sujet de la sémantique de l'action. Citons son hypothèse du caractère hiérarchique de la représentation mentale de l'action, à l'appui de laquelle l'auteur présente différents arguments théoriques et résultats empiriques. Ce caractère hiérarchique s'exprimerait par un ordre d'accès différencié aux composants de l'action: son résultat est accédé en premier, tandis que ses prérequis le sont en dernier. Des réflexions qui semblent particulièrement pertinentes pour notre propos concernent une étude dans laquelle Sébillotte (1983) demande à des secrétaires de lui décrire leurs tâches. Sébillotte observe que les personnes commencent par lui présenter le but, tandis que, pour obtenir des informations sur la procédure, il faut souvent qu'elle leur pose des questions supplémentaires.

Notre interprétation des différences observées entre les descriptions destinées à des Non-K et à des K vient en appui de l'hypothèse de Richard. On s'adapte à son interlocuteur dans la présentation de procédures permettant d'atteindre des buts, en l'occurrence d'itinéraires permettant de réaliser des tâches. On détaille plus ou moins les sous-butts et les moyens pour les atteindre, selon les connaissances que l'interlocuteur possède à leur sujet. Une brève présentation du but à un interlocuteur possédant de bonnes connaissances peut suffire pour qu'il évoque lui-même des procédures permettant d'atteindre ce but —pas nécessairement d'ailleurs celles prévues par la personne qui donne la présentation. Pour un interlocuteur ne possédant pas ces connaissances, l'atteinte du but constitue un problème, qu'il pourra essayer de résoudre. En lui fournissant une "bonne" description, une personne qui connaît l'environnement résout, en grande partie, l'éventuel problème pour son interlocuteur, en lui apportant des aides. Celles-ci peuvent consister en

- un découpage des buts en sous-butts, et/ou
- une présentation des moyens pour atteindre ces sous-butts.

L'analyse des données de l'étude présentée dans ce texte a fourni des exemples de différentes formes que peuvent prendre ces aides: par exemple, la présentation explicite de lieux de passage, et de caractéristiques de ces lieux et des destinations, permettant de les reconnaître.

Recommandations pour un système d'assistance. Quelques pistes peuvent être formulées sur la base de ces résultats.

- Les grandes différences dans les descriptions d'itinéraires selon que celles-ci s'adressent à des interlocuteurs avec ou sans connaissance de l'environnement à traverser, plaident pour une adaptation à l'utilisateur selon ses connaissances.
- Vu la fréquence de référence à des repères spatiaux toponymiques dans les descriptions destinées aux interlocuteurs K, ce type de références toponymiques peuvent être utiles. On peut (davantage) exploiter les bases de données cartographiques qui en contiennent.
- Même si elles ne sont pas très fréquentes, les descriptions de repères spatiaux (bâtiments et autres points saillants dans le paysage et/ou l'environnement urbain) semblent être profitables

dans la description d'itinéraires, notamment à l'adresse d'interlocuteurs Non-K. Leur intégration dans des bases de données cartographiques paraît possible.

6 REFERENCES

- Araújo Carreira, M. H. (1997). *Modalisation linguistique en situation d'interlocution: proxémique verbale et modalités en portugais*. Louvain-Paris: Peeters.
- Bellet, T. X. (1998). *Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain: une application à la conduite automobile* (Thèse en Psychologie Cognitive – Ergonomie Cognitive). Paris: Université Paris V - René Descartes, Sciences Humaines Sorbonne.
- Byrne, R. (1977). Planning meals: Problem-solving on a real data-base. *Cognition*, 5, 287-332.
- Chalmé, S., Visser, W., & Denis, M., (2000). *Cognitive aspects of urban route planning*. Proceedings of ICTTP 2000, International Conference in Traffic and Transport Psychology.
- Daniel, M.-P., & Denis, M. (1998). Spatial descriptions as navigational aids : a cognitive analysis of route descriptions. *Kognitionswissenschaft*, 7, 45-52.
- Forzy, J.-F., & Truc-Martini, D. (1994). *Ergonomie des systèmes d'aide à la navigation routière: les stratégies de description d'itinéraires*. Actes d'ERGO-IA'94, Biarritz.
- Grall, M. (Septembre 1999). *La planification d'itinéraires: aspects cognitifs de leur description* (Mémoire de recherche de D.E.A.). Rocquencourt: INRIA.
- Hayes-Roth, B., & Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, 3, 275-310.
- Krauss, R. M., & Glucksberg, S. (1977,). Social and non-social speech. *Scientific American*, 236₂, 100-105.
- Pottier, B. (1992). *Sémantique Générale*. Paris: PUF.
- Richard, J.-F. (1990). *Comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Armand Colin.
- Sebillotte, S. (1983). *Représentation des actions de l'opérateur. Etude des tâches administratives* (Rapport de recherche N° 256). Rocquencourt: INRIA.
- Tattegrain-Veste, H., Bellet, T., Pauzié, A., & Chapon, A. (1996). *Computational Driver Model in Transport Engineering : COSMODRIVE*. Paper presented at the Transportation Research Board No. 1550, Washington.

Session 4
Cognition et émotion

Analyse des émotions en situation de travail, une approche psycho-ergonomique

Corinne Ribert-Van De Weerd

I.N.R.S., Laboratoire Ergonomie et Psychologie Appliquées à la Prévention
Avenue de Bourgogne, B.P. 27, 54501 Vandœuvre Cedex 1
corinne.vandeweerd@inrs.fr

RESUME

Si les émotions font partie des sujets d'étude investis par les psychologues depuis de nombreuses années, en revanche, les aspects affectifs dans le cadre du travail restent encore peu examinés. Il semble en effet que les émotions aient été absentes des analyses proposées par l'ergonomie jusqu'ici. Or, si les études portant sur la charge mentale peuvent permettre de comprendre l'activité d'opérateurs en situation réelle, l'analyse de la charge émotionnelle paraît également pouvoir apporter des éléments intéressants sur la façon dont est gérée cette activité. Ce papier tentera, à partir de travaux menés sur les émotions en situations de travail, de présenter une revue de questions, et ce faisant, de montrer combien la prise en compte des émotions dans des conditions réelles peut être riche pour interpréter toute la dynamique de l'activité, les mécanismes de régulation mis en œuvre par les individus et l'interaction pouvant exister entre émotion et cognition dans un cadre professionnel.

MOTS-CLES

Activité, Analyse du Travail, Cognition, Émotion, Psycho-ergonomie.

1 INTRODUCTION

La place occupée par l'émotion dans les travaux des psychologues et des ergonomes s'étend de façon marquante. Cette évolution récente entre en contradiction avec le désintérêt manifeste pour les facteurs émotionnels qui a perduré jusqu'à ces deux dernières décennies, surtout dans les études s'intéressant aux situations professionnelles. En effet, l'émotion a rarement eu une part importante parmi les recherches en psycho-ergonomie, et les chercheurs qui s'y sont intéressés, l'ont souvent considérée comme étant la composante « illogique », « irrationnelle », et « incontrôlable » de l'homme, opposée à la dimension cognitive de l'individu renvoyant au contraire à la « raison ». Il semblerait qu'avec le développement récent des théories et des modèles sur le stress au travail, les recherches psycho-cognitives intègrent de plus en plus les facteurs émotionnels. On voit croître le nombre de situations de travail dans lesquelles les opérateurs doivent gérer des relations avec un public (dans des activités de prestation de service, d'aide à autrui, etc.) et sont ainsi confrontés à de fortes exigences sur le plan psycho-affectif. L'émotion devient alors une question cruciale dans le sens où la charge émotionnelle émanant de ces situations peut avoir une influence sur l'individu, ses conduites, sa performance, sa santé et sa sécurité. La mesure, ou du moins la caractérisation de cette charge émotionnelle, pourrait constituer une donnée utile pour mieux comprendre le travail et ses effets sur l'homme (au même titre que la charge physique et mentale). Ce papier tentera, à partir des travaux sur les émotions étudiées dans un cadre essentiellement professionnel, de voir ce qu'ils peuvent apporter à l'analyse des situations de travail, et ce faisant, comment ils peuvent permettre de comprendre les relations émotion-cognition en cours d'action. Dans un premier temps, il sera question de situer le concept d'émotion. Puis il s'agira de retracer les études ayant cherché à analyser l'émotion parallèlement à l'activité mentale. Aussi, pour connaître leur relation, l'exposé s'appuiera sur des travaux montrant d'une part l'influence des facteurs émotionnels sur l'activité cognitive, et d'autre part l'impact de la cognition sur les émotions. Ces deux dimensions (cognitives et affectives) sont présentées de façon séparée dans le but d'en distinguer des mécanismes propres. En réalité, elles sont interdépendantes et entretiennent d'étroites relations qui les rendent indissociables si l'on considère les conduites réelles des individus.

2 EVOLUTION DU CONCEPT D'EMOTION

Après la présentation des différentes théories de l'émotion (qui montrera l'évolution du concept) et sa délimitation par rapport à d'autres notions (permettant de situer le cadre conceptuel qui servira de référence), l'étude des émotions sera abordée dans le champ de la psycho-ergonomie.

2.1. Les différentes théories de l'émotion

Les théories behavioristes, centrées exclusivement sur l'objet des émotions et les réponses du corps (comportementales et physiologiques), ont progressivement été abandonnées, jugées insuffisantes pour expliquer la production d'une émotion et la façon dont se construisent les significations affectives. Les théories fonctionnalistes, quant à elles, décrivent l'émotion selon sa fonction adaptative. Mais cette fonction adaptative développée dans ces théories nécessite de définir le but de l'adaptation, car une réponse peut être fonctionnelle par rapport à un but et dysfonctionnelle par rapport à un autre. En fait, avant les années 70-80, l'émotion a surtout été étudiée par opposition à la cognition, pour élucider le problème de la prééminence du physiologique ou du psychologique dans l'expérience émotionnelle. Aujourd'hui, l'ensemble des chercheurs s'accorde sur le fait qu'émotion et cognition interagissent étroitement. Piaget (1989) l'a montré en étudiant l'affectivité sans cesse à l'œuvre dans le fonctionnement de la pensée. Des travaux plus récents l'ont confirmé, comme ceux de Damasio (1995), attestant que les processus mentaux s'accomplissent selon les plaisirs et déplaisirs, ou ceux de LeDoux (1994) et Cahill et al. (1996), qui montrent que le système émotionnel dépend d'une structure située dans le lobe temporal, l'amygdale, jouant un rôle actif dans les processus cognitifs tels que la mémoire. Aussi, il est admis que l'émotion comporte trois composantes, l'une étant liée aux changements physiologiques, l'autre à l'expérience subjective de la situation (agréable ou désagréable) et la troisième aux comportements observables personnel et social (Rivoliier, 1992). L'émotion est non seulement construite socialement, mais elle l'est aussi culturellement (Lutz, 1988). Elle constitue une réponse chimique et neuronale, déclenchée par des facteurs psychiques et physiologiques, des stimuli externes et internes ou des processus cognitifs en référence à une situation.

2.2. Délimitation du concept d'émotion par rapport à d'autres notions

Beaucoup de chercheurs se rejoignent pour définir les émotions de base comme étant : la joie, la tristesse, la peur, le dégoût, la colère et la surprise. Il n'en est pas de même pour d'autres concepts - tels que l'humeur, le sentiment, la motivation, l'affect, le bien-être, le stress, ou encore la fatigue - considérés soit comme des émotions d'un autre niveau, soit comme des éléments totalement distincts. Damasio (1999) considère par exemple que la jalousie ou la culpabilité sont des émotions de niveau secondaire, et que le bien-être ou la fatigue font partie des émotions de fond. Cependant, chacune de ces notions semblent présenter des spécificités. L'humeur se distingue de l'émotion du fait qu'elle est moins vive et dure plus longtemps. Elle désigne une disposition de l'esprit, un tempérament qui se traduit par une expression affective dominante dans le comportement. Le sentiment n'entraîne pas de modifications physiologiques ni somatiques comme l'émotion ; il renvoie à une composante cognitive en référence à un besoin (par exemple le sentiment de plaisir lorsqu'un objectif est atteint). La motivation renverrait davantage à l'activation subordonnée à un objectif d'un point de vue comportemental. L'affect, quant à lui, s'applique aussi bien à des états spécifiés, déclenchés par des situations ou des objets déterminés, qu'à des états vagues, indéterminés. Il n'est pas limité à des états intenses comme l'émotion, mais inclut aussi une « tonalité émotionnelle » (de type agréable ou désagréable par exemple). En termes de structure, une question est de savoir si les affects positif et négatif sont indépendants, comme le soutiennent Diener, Smith, & Fujita (1995), ou s'ils constituent des pôles opposés d'une même dimension, comme l'affirment Green, Goldman, & Salovey (1993). Le bien-être, tout comme la satisfaction professionnelle, équivaut à un état affectif global en référence à un ensemble de critères professionnels (et non pas à un événement particulier). Pour Diener, Smith, & Fujita (1995), la perception de bien-être se base davantage sur la fréquence de l'affect (de plaisir) que sur son intensité. Par ailleurs, l'émotion, en tant que réponse immédiate, se distingue du stress qui constitue plutôt un processus différé (Rivoliier, 1992). Par contre, l'émotion peut conduire au stress si, d'émotions positives (par exemple de challenge, de défi) on passe à des émotions négatives (de colère, d'inquiétude...) pouvant devenir chronique (Gaillard, 1993). De la même façon, l'émotion peut amener à de la fatigue qui, d'un point de vue subjectif, s'accompagne de sentiments de difficultés à

effectuer une tâche. Elle désigne une productivité, une capacité de performance et une concentration amoindries par l'activité précédente et la dépense d'énergie activée. Par ailleurs, on peut se demander si l'absence d'émotion renvoie à un état émotionnel qui serait neutre, ou bien à un état non-émotionnel. Certains, comme Orthony, Clore, & Collins (1988), tiennent à leur distinction. Ainsi, le concept d'émotion peut être dissocié de ceux d'humeur, de motivation, de stress, de fatigue, même si cette différenciation peut parfois paraître subtile (par exemple entre affect et émotion). Cependant, certaines interrogations subsistent, notamment en ce qui concerne la structure de l'affect. Le développement de la dimension affective dans les champs de la psychologie ergonomique semble être une voie prometteuse pour mieux comprendre son agencement, les mécanismes régissant les processus émotionnels dans le travail et les facteurs intervenant dans la réalisation de l'activité.

2.3. Apparition du concept d'émotion dans les champs de la psycho-ergonomie

Même si l'émotion est une notion étudiée depuis longtemps, son apparition dans les sciences cognitives reste néanmoins récente. A partir des années 70, elle a progressivement été introduite dans les divers champs de la psychologie (sociale, cognitive, physiologique, pathologique, ergonomique...) comme objet d'étude en tant que tel. Dejours (1987) a été le premier à parler de plaisir et de souffrance au travail. Il apporte un point de vue nouveau en intégrant une dimension affective du travail. Aussi, l'émergence de travaux sur le stress a également eu pour effet de replacer au cœur des débats la question de la place de l'émotion, son rôle, son statut. La prise en compte de la charge émotionnelle, en plus de la charge de travail, semble constituer un enjeu important pour tenter de spécifier les contraintes physiques, mentales, mais aussi psychiques. A travers des études montrant l'influence exercée par l'émotion sur la cognition, puis l'impact de la cognition sur l'émotion, il est question à présent d'exposer les processus émotionnels en œuvre dans des activités variées. Très différentes de par leur nature, ces activités ont néanmoins pour points communs d'appartenir au domaine professionnel et de contenir une composante émotionnelle forte. Certaines s'effectuent en relation avec un public (par exemple dans le secteur de l'enseignement, des services, des transports en commun), d'autres font intervenir une relation de compétition (comme dans le sport professionnel), d'autres encore ont lieu dans le cadre d'une relation d'aide (apportant une assistance médicale, sociale, juridique, etc.), ou dans le cadre d'un contrôle (inspection, enquête...).

3 L'INFLUENCE DE L'EMOTION SUR LA COGNITION

L'observation d'études ayant porté sur l'effet de l'émotion vis-à-vis de la cognition conduit à se demander comment l'émotion peut permettre de favoriser les processus cognitifs adéquats, ou à l'inverse, gêner les raisonnements et décisions d'un individu.

3.1. Émotion - cognition et activité

Damasio (1999), qui a étudié le processus de prise de décision, souligne l'importance du rôle des émotions. Ce processus est en effet guidé par un ensemble de marqueurs somatiques positifs ou négatifs qui procurent une sensation viscérale vis-à-vis du choix d'une option donnée et attirent l'attention sur les conséquences négatives ou positives de l'action. Dans le même sens, Isen (1993) montre que l'émotion positive peut exercer une influence sur la prise de décision et la prise de risque. Les sujets présentant un état affectif positif, par rapport aux sujets du groupe contrôle, estiment qu'ils sont capables de prendre plus de risques, prennent des décisions complexes plus rapidement, affichent moins de redondances dans leur processus de recherche et écartent davantage les mauvaises décisions. Amalberti (1996) introduit le modèle du compromis cognitif pour rendre compte de l'intervention de plusieurs fonctions dans l'activité. L'opérateur établit des choix en fonction d'objectifs qui peuvent être contradictoires, comme par exemple la performance attendue ou souhaitée, la sécurité (la sienne et celle du système), les buts communs partagés par un groupe, etc. Il prend en compte à la fois les processus cognitifs et l'aspect émotionnel du travail situé pour expliquer l'activité de l'individu, sa prise de risque. Dans le même ordre d'idées, Lhuillier & Grosdeva (1992) ont examiné les aspects émotionnels mobilisés lors de la simulation d'une activité de conduite de système complexe, en situation accidentelle, dans une centrale nucléaire. Outre les changements d'ordre somatique, les émotions ont pour conséquence de modifier la représentation du cadre spatio-temporel des opérateurs, de restreindre leur champ perceptif, d'exacerber les conflits relationnels. Par ailleurs, l'étude de Koufane, Négroni, & Vion (2000) décrit comment l'émotion peut influencer la qualité du service

fourni au client. L'état émotionnel d'opérateurs d'une agence d'assurance chômage détermine pour une large part la façon dont ces derniers traitent les dossiers et répondent aux demandeurs d'emploi. La gestion des dossiers et des demandes, chargés émotionnellement, suscite de la part des agents différentes stratégies (technico-professionnelle, empathique ou encore d'évitement). De plus, les opérateurs subissent un effet de « contagion émotionnelle », c'est-à-dire qu'il leur est difficile cognitivement de passer d'un dossier à l'autre ou d'éviter qu'un état émotionnel ressenti à un moment précis ne se prolonge jusqu'à la fin de la journée. L'état émotionnel des agents se répercute sur leur performance, voire même sur leur santé lorsque le travail est vécu comme une source de stress. Une étude récente (Sève, 2001) portant sur le sport à un niveau professionnel, décrit l'activité de pongistes experts en parallèle avec la tonalité et l'intensité de leurs émotions au cours de matchs. L'auteur met en évidence la dynamique émotionnelle de l'activité. Celle-ci évolue en fonction des particularités des actions réalisées (certains échanges de balles élèvent ou diminuent le sentiment de confiance), la perception de l'état émotionnel de l'adversaire (en évoluant de manière opposée), l'état et l'évolution du score (une avance au score est vécue comme plus confortable qu'un retard, mais lorsque la stratégie du joueur est avant tout d'interpréter la situation d'interaction, un retard n'est pas forcément vu comme négatif), et enfin, la sensation d'avoir construit des connaissances sur le jeu de l'adversaire (par exemple, savoir quelles actions gênent celui-ci). Ainsi, l'auteur montre que l'émotion peut modifier le cours de l'activité, de manière positive ou négative, différemment selon le déroulement du match et donc de l'histoire de l'activité. L'émotion naît d'une interaction entre les deux et de la signification que la personne accorde à cette situation. En somme, ces études prouvent que les émotions ne peuvent être comprises qu'en relation avec l'action et la cognition, puisqu'elles constituent le fondement même de l'activité construite au fur et à mesure. Les différents résultats mettent en évidence une relation de co-définition entre l'émotion et la situation.

3.2. Émotion - cognition et stress au travail

Les études de terrain portant sur la relation entre émotion et cognition ont amené les chercheurs à s'interroger sur l'impact des émotions et du stress sur le fonctionnement cognitif. Cette question a surtout été abordée sous l'angle du stress perçu. A partir d'analyses du travail, Robert & Hockey (1997) notent que sous un état de stress et de charge de travail élevée, les opérateurs mettent en œuvre un « contrôle compensatoire » pour réguler leur activité et leur performance. Le modèle de ces auteurs se fonde sur les principes du mécanisme dynamique d'allocation de ressources, rendu possible grâce à un effort important fourni par les opérateurs. La régulation des buts et des actions requiert un mécanisme de contrôle compensatoire qui permet la réalisation des tâches par les individus soumis au stress, mais au prix d'une augmentation de l'effort subjectif et de coûts comportementaux et physiologiques. Ria, Saury, Sève, & Durand (sous presse), en étudiant l'activité d'enseignants en éducation physique lors de leurs premières expériences professionnelles, ont montré que sous l'effet du stress, l'émotion ressentie pouvait influencer le cours de l'activité. Les enseignants sont confrontés à des dilemmes face à des objectifs contradictoires (par exemple, installer un matériel pédagogique tout en surveillant les élèves) qui ne peuvent être réalisés sans compromis cognitif. La résolution passe par la focalisation temporaire sur l'un des objectifs, l'autre étant momentanément abandonné. Les enseignants en éprouvent des sentiments d'inconfort, de frustration, d'agacement, de déception. Mais pour « sauver la face » devant les élèves, ils tentent de montrer qu'ils maîtrisent la situation (par exemple en interpellant les élèves dissipés tout en continuant l'installation du matériel, même si cette interpellation n'est qu'une action « en trompe l'œil »). Ainsi, l'étude met en évidence que les émotions et le stress générés par la réalisation de l'activité conduisent à orienter le cours des actions. L'ensemble de ces travaux permet de révéler des interactions réelles entre les composantes cognitive et émotionnelle émanant de la situation de travail.

4 L'INFLUENCE DE LA COGNITION SUR L'EMOTION

Les chercheurs explorant la relation cognition-émotion se réfèrent principalement aux théories de l'évaluation cognitive mises en évidence par Lazarus (1966).

4.1. Cognition - émotion et activité

Plusieurs travaux montrent comment les opérateurs peuvent être amenés à éprouver des émotions, positives ou négatives, en relation avec une prise de conscience, une évaluation, vis-à-vis de leur

environnement de travail. L'étude de Hacker (1996) dans un service de veille sanitaire fait apparaître que la perception de la charge de travail d'infirmières, corrélée à la perception de leurs propres capacités, influence en grande partie leurs émotions. La charge dépend des exigences de la tâche, mais aussi des ressources individuelles, de la perception des ressources propres, des aspects psychosociaux et organisationnels tels que l'autonomie, la coopération, les relations interpersonnelles, la pression temporelle, etc. L'activité des infirmières et l'évaluation qu'elles en font détermine leur bien-être au travail, les émotions positives et négatives, leur sentiment de satisfaction ou d'insatisfaction. Par ailleurs, d'autres études (Falzon & Lapeyrière, 1998 ; Koufane, Négroni, & Vion, 2000) ont montré à quel point les relations professionnelles de travailleurs en contact avec le public pouvaient être difficiles, de par les écarts importants existant entre les tâches à réaliser et les situations concrètes auxquelles les opérateurs sont confrontés et doivent répondre. Ces derniers sont bien souvent dans l'obligation d'adopter des comportements contradictoires et conflictuels avec ce qu'ils ressentent. Selon les moments, on voit s'exprimer des sentiments ambivalents de plaisir et de dégoût, d'affection et de haine, de surprise et de saturation. Les émotions ressenties dans le travail au quotidien peuvent engendrer à terme des perturbations psychologiques de la personnalité. Il apparaît donc que l'évaluation cognitive propre aux situations professionnelles rencontrées peut être à l'origine de l'apparition d'émotions. Les différentes recherches citées laissent entendre que si les conditions ne s'améliorent pas, cette évaluation peut même parfois conduire à des problèmes de santé et en l'occurrence à du stress pour les opérateurs.

4.2. Cognition - émotion et stress au travail

Ponnelle & Vaxevanoglou (1999) font partie de ceux qui ont cherché à savoir quel lien pouvait exister entre l'évaluation cognitive d'opérateurs et leurs stratégies de coping en situation réelle de travail (au niveau cognitif, émotionnel et comportemental). Ils ont analysé l'activité de sapeurs-pompiers confrontés à des expériences évaluées comme mettant en danger leur bien-être et les différentes façons d'y faire face. Pour cela, les auteurs ont examiné d'une part les représentations de l'environnement de travail et ses contraintes et d'autre part l'impact des stratégies d'ajustement sur la santé. Il ressort que l'ensemble des déterminants de l'activité est perçu par les sapeurs-pompiers comme générant du stress. Sur le plan des émotions, ceux qui ont une disposition de coping orientée vers la détresse émotionnelle, générée par la situation stressante, ont davantage le sentiment d'être épuisés émotionnellement et de ne plus s'accomplir dans le travail. On peut donc penser que l'évaluation cognitive de situations de travail stressantes amène les opérateurs à éprouver des émotions négatives. Pezet-Langevin (1999) a également mis en évidence que le stress subjectif de salariés était en rapport direct avec leurs comportements. Elle révèle que les travailleurs sociaux intervenant auprès de familles sous mandat judiciaire, présentant un épuisement professionnel, manifestent des comportements en lien avec cet état. Ils emploient notamment un style « directif » dans leur travail, néfaste pour la qualité du service fourni aux familles dont ils ont la charge. De la même façon, Cazabat (1999) étudie l'activité et le stress perçu d'infirmières. Il ressort que face aux émotions négatives ressenties au travail et face au stress, les infirmières mettent en œuvre des processus de régulation contenant des effets adaptatifs mais aussi pathogènes (par exemple, la réduction des demandes d'aide peut être un soulagement car elles limitent les (sur)sollicitations auprès des collègues, mais ont aussi un impact néfaste par l'isolement qu'elle provoque). Ainsi, l'évaluation cognitive peut être source d'émotions positives et négatives dans le travail, au même titre que les stratégies de coping qui peuvent avoir des conséquences profitables et nocives. En résumé, le processus d'évaluation cognitive décrit initialement par Lazarus met en évidence comment l'individu peut être amené à éprouver des émotions par une prise de conscience de la relation qu'il entretient avec son environnement.

5 CONCLUSION

Si l'émotion agit sur l'activité cognitive d'un individu (en la perturbant ou bien en la favorisant), de la même façon, la cognition peut être à l'origine de la production d'émotions. Leur étroite relation amène à penser que l'émotion est une partie intégrante du système cognitif, plutôt qu'une entité à part entière. Cependant, la nature même de leur relation n'est pas toujours aisée à définir. Une des raisons se situe au niveau du manque d'études empiriques ayant traité cette question. Même si l'aspect affectif est davantage exploré à l'heure actuelle, il n'en reste pas moins que l'émotion est rarement

analysée en situation réelle de travail. L'émergence de recherches sur le stress tend à orienter l'étude des émotions vers un cadre professionnel. Un effort d'intégration de l'ergonomie dans cette perspective paraît fondamental pour pouvoir mesurer, ou du moins caractériser, la charge émotionnelle impliquée dans l'activité, la situation, l'environnement. L'analyse de cette dimension semble importante pour pouvoir fournir des pistes de recommandations et d'actions, en vue de la transformation et la prévention de situations à risque (par exemple en termes de stress). De la même façon, connaître les facteurs entraînant des effets positifs sur les émotions, en situation réelle, peut être une base de réflexion pour améliorer des conditions qui, elles, sont potentiellement néfastes. Les aspects cognitifs et affectifs, difficiles aujourd'hui à mesurer objectivement et à évaluer simultanément, nécessitent le développement de méthodes spécifiques. Les premières investigations de développement de travaux vers cette voie témoignent d'une avancée encourageante.

BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Cahill, L. Haier, R., Fallon, J., Alkire, M., Tang, C., Keator, D., Wu, J., & McGaugh, J.L. (1996). Amygdala activity at encoding correlated with long-term, free recall of emotional information. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93,15, 8016-8021.
- Cazabat, S. (1999). *Sources et régulations du stress perçu au travail, le cas des infirmières d'une unité fonctionnelle de gérontologie*. Mémoire de DEA, Université de Toulouse-le-Mirail.
- Damasio, A.R. (1995). *L'erreur de Descartes : la raison des émotions* (M. Blanc, Trad.). Paris : Ed. Odile Jacob. (Edition originale, 1994).
- Damasio, A.R. (1999). *The feeling of what happens: body and emotion in the making of consciousness*. New York: Harcourt Brace.
- Dejours, C. (Eds.). (1987). *Plaisir et souffrance dans le travail*. Paris, Editions de l'AOCIP.
- Diener, E., Smith, H., & Fujita, F. (1995). The personality structure of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69, 130-141.
- Falzon, P., & Lapeyrière, S. (1998). L'usager et l'opérateur : ergonomie et relations de service. *Le Travail Humain*, 61, 1, 69-90.
- Gaillard, A.W.K. (1993). Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, 36, 9, 991-1005.
- Green, D.F., Goldman, S., & Salovey, P. (1993). Measurement error masks bipolarity in affect ratings. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64, 1029-1041.
- Hacker, W. (1996). *Mental workload and its sources* (Report No. 34). Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie.
- Isen, A.M. (1993). Positive affect and decision making. In M. Lewis & J.M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 312-329). New York: Guilford.
- Koufane, N., Négroni, P., & Vion, M. (2000). La santé des agents d'accueil, les effets de la nouvelle organisation du travail. *Cahiers de Notes Documentaires de l'INRS*, 179, 75-81.
- Lazarus, R.S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. New York: McGraw-hill.
- LeDoux, J.E. (1994). Cognitive-emotional interactions in the brain. In P. Ekman & R.J. Davidson (Eds.), *The nature of emotion: fundamental questions* (pp. 216-223). New York: Oxford University Press.
- Lhuillier, D., & Grosdeva, T. (1992). Stress et conduite de système complexe. *Le Travail Humain*, 55, 2, 155-169.
- Lutz, C.A. (1988). *Unnatural emotions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Orthony, A., Clore, G.L., & Collins, A. (1988). *The cognitive structure of emotions*. New York: Cambridge University Press.
- Pezet-Langevin, V. (1999). *Le stress au travail : des déclarations à l'observation des comportements*. Communication présentée au XXXIV^{ème} Congrès de la SELF. Caen, France, Sept.
- Piaget, J. (1989). Les relations entre l'intelligence et l'affectivité dans le développement de l'enfant. In B. Rimé & K. Scherer (Eds.), *Les émotions* (pp. 75-96). Neuchâtel-Paris : Delachaux et Niestlé.
- Ponnelle, S., & Vaxevanoglou, X. (1999). *Ajustement au stress et santé au travail*. Communication présentée au XXXIV^{ème} Congrès de la SELF. Caen, France, Sept.

- Ria, L., Saury, J., Sève, C., & Durand, M. (sous presse). Les dilemmes des enseignants débutants : études lors des premières expériences de classe en éducation physique. *Sciences et Motricité*.
- Rivolier, J. (1992). Stress et émotion, aspects biologiques et cognitifs. *Psychologie médicale*, 24, 3, 257-260.
- Robert, G., & Hockey, J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: a cognitive-energetic framework. *Biological Psychology*, 45, 73-93.
- Sève, C. (2001). *Emotion, action et intention dans l'activité de pongistes experts dans des matchs internationaux*. Communication présentée au Séminaire Interdisciplinaire de Sciences et Technologies Cognitives : cognition, émotion et désir technique. Compiègne, France, Janv.

Interface humanisée : quels effets sur l'implication dans la tâche et la qualité de l'interaction ?

Michel Dubois,

ERIHST, Laboratoire de Psychologie Sociale, Université Pierre Mendès France, Grenoble.

Michel.Dubois@upmf-grenoble.fr

Federico Tajariol,

ARCADE, Laboratoire Clips (Imag), Université Joseph Fourier, Grenoble.

Federico.Tajariol@imag.fr

RESUME

Les agents logiciels humanisés suscitent de plus en plus d'intérêts auprès des concepteurs d'interfaces. Mais quels sont les effets de ces interfaces sur l'implication dans la tâche et la qualité de l'interaction Homme-Machine ? Nos résultats expérimentaux montrent que plus les interfaces sont humanisées, plus les sujets sont impliqués dans la tâche, mais que la qualité de l'interaction dépend à la fois de l'humanisation de l'interface et du contexte de réalisation de la tâche.

MOTS CLES

Agents logiciels, interfaces humanisées, implication dans la tâche, qualité de l'interaction.

Au cours de la dernière décade, de nombreux concepteurs informatiques ont créé, pour améliorer le dialogue Homme-Machine, des assistances (« agents logiciels »). Ces agents reposent sur des programmes informatiques qui s'exécutent indépendamment des actions de l'utilisateur, et pour interagir avec l'utilisateur, leurs interfaces sont de plus en plus sous forme de personnages humains représentés de manière caricaturale ou réaliste. Quels sont alors les effets de ces « interfaces humanisées » sur l'implication dans la tâche et le déroulement de l'interaction ?

1. INTERFACES HUMANISEES ET INTERACTION HOMME-MACHINE

1.1. L'interface humanisée : développements actuels et postulats de base

De nombreux développements informatiques d'interfaces humanisées ont été réalisés (Don & al., 1992 ; Lee & al., 1995 ; Sheth, 1994 ; Maes, 1995 ; Bell, 1996 ; Bates, 1994 ; Elliott, 1994, etc.). Ces développements s'appuient sur l'idée empirique que l'utilisateur attribue à ce type d'interface de la personnalité, de la motivation et des émotions. L'interaction avec la machine devient alors plus conviviale et plus facile à gérer car l'utilisateur se sert de ses propres connaissances interpersonnelles quotidiennes. Ainsi, pour Oren & al. (1990) l'intérêt de l'humanisation des guides logiciels est, d'une part, de réduire la charge cognitive lors de l'interaction Homme-Machine et, d'autre part, d'augmenter l'engagement de l'utilisateur. Pour cela il suffit de reproduire les traits caractéristiques des émotions utilisées lors des interactions interpersonnelles courantes (Laurel, 1990). L'interface humanisée est donc initialement posée comme permettant une gestion plus efficace de l'interaction Homme-Machine.

1.2. L'interface humanisée : une métaphore pertinente des modalités d'interaction humaine ?

Un grand nombre d'enquêtes de satisfaction après l'utilisation de programmes utilisant des interfaces humanisées ont montré que l'interaction est jugée satisfaisante car plus "naturelle" et plus "émotionnelle" (Thorisson, 1996 ; Kozierok, 1993 ; Nass & al., 1994 ; Lashkari & al., 1994 ; Blumberg, 1994 ; Maes, 1995 ; Schneiderman, 1995 ; Thorisson, 1996 ; Bell & al., 1996). Cependant, pour Lanier (1995), ce type d'interface peut rendre l'utilisateur plus paresseux, sans prise d'initiative car se conformant encore plus dans une relation sociale d'assistantat. L'ensemble de ces évaluations empiriques montre cependant que l'humanisation des interfaces aide à gérer l'interaction Homme-Machine. Mais ces évaluations se rapportent spécifiquement aux applications développées (de nature très hétérogène) sans chercher à comparer différents dispositifs de conception d'interfaces à partir d'une application identique.

1.3. Quels intérêts réels à utiliser une interface humanisée ? Etudes comparatives

Takeuchi et al. (1995) ont comparé un agent logiciel agent représenté soit par une flèche, soit par un visage synthétique. La perception d'engagement par l'utilisateur est supérieure avec une interface humanisée. La flèche est jugée comme un outil sérieux et utile ; l'interface faciale comme plus amusante et plus divertissante. King et al. (1996) ont eux aussi testé l'effet des caractéristiques des interfaces (géométriques vs faciales soit caricaturée, soit réaliste) sous forme statique ou dynamique. Les attributions d'intelligence sont plus importantes pour les interfaces faciales réalistes, puis les caricaturées, puis les géométriques. Walker et al. (1994) ont montré qu'un visage plus émotionnel (visage triste vs visage neutre) engage plus l'utilisateur dans l'interaction. Sproull et al. (1996) ont comparé, lors d'une enquête par ordinateur, une interface textuelle avec une interface humanisée présentant un visage à l'expression soit plaisante, soit triste et montré qu'avec les interfaces faciales, le niveau d'attention, d'élaboration et de temps de réponses est plus élevé (effets de facilitation sociale). Les traits de personnalité sociale (serviabilité, intelligence, etc.) sont plus attribués aux interfaces faciales. Les questions au contenu peu désirable socialement sont moins traitées devant les interfaces faciales (biais de désirabilité sociale et tendance à l'auto-présentation positive). L'ensemble de ces recherches a le mérite de comparer différentes interfaces à partir d'une même application. Globalement, une interface humanisée est perçue par l'utilisateur comme plus engageante et comme améliorant la qualité de l'interaction. Cependant ces recherches, surtout de nature évaluative, n'abordent jamais la variation du contexte d'interaction. Or ce contexte n'est jamais neutre socialement et exerce un ensemble d'effets sur la réalisation de la tâche et l'auto-estimation des sujets (cf. théorie de l'efficacité personnelle, Bandura, 1986).

Notre recherche se propose d'identifier plus précisément en faisant varier le contexte de passation : (a) les effets réels de l'interface humanisée sur le niveau d'implication dans la tâche, (b) les représentations qu'elles suscitent auprès de l'utilisateur notamment en terme de qualité de l'interaction.

2. EXPERIENCE

2.1. Méthode

Dans cette étude, les participants ont été invités à réaliser une tâche dans sa phase finale impossible à résoudre pour perturber émotionnellement les sujets, puis à se former une impression et à porter un jugement sur la qualité de l'interaction Homme-Machine.

Matériel :

Il a été réalisé avec le logiciel Authorware de Macromedia et Flash 4.0. L'écran de l'ordinateur est divisé en trois fenêtres distinctes (schéma 1). Pour la séquence d'apprentissage, deux fenêtres

informatives, situées dans la moitié gauche de l'écran, placées l'une au-dessus de l'autre, correspondent à la leçon (solfège rythmique). Elles présentent, en cinq écrans, les bases théoriques d'une leçon musicale avec du texte (partie haute) et des illustrations graphiques et sonores (partie basse). Différents thèmes sont abordés (note de référence, pulsation, succession de notes, division du temps, etc.). Les outils de navigation sont très simples. Le sujet peut revenir sur l'ensemble des écrans sans limite de temps. Lorsque le participant estime avoir suffisamment consulté la leçon, il clique sur une croix qui ferme la partie leçon et active une nouvelle configuration qui correspond à la partie « exercices ». Le participant est alors sollicité pour reconnaître des extraits de rythmes à partir de différentes portées musicales. Cette partie débute avec une page sous forme textuelle qui présente la démarche à suivre pour réaliser les exercices pré-testés par 33 sujets pour obtenir un niveau de succès respectif d'environ 100% (exercice 1), 75% (exercice 2) et 50% (exercice 3). L'exercice 4 est très difficile (10% de succès moyen) et l'exercice 5 impossible à résoudre. Lors de la réalisation des exercices, l'ordinateur dialogue avec l'utilisateur en fonction de la qualité des réponses (correcte ou fausse). Selon l'exactitude de la réponse, l'interface affiche soit des commentaires à valence positive pour l'encourager, soit des commentaires à valence négative pour le mettre en garde et susciter sa vigilance. La valence de ces dialogues de renforcement a été pré-testée par 27 sujets sur une échelle en 11 points (de « 1 » très négatif à « 11 » très positif). Nous avons retenu les propositions les plus représentatives des valences positives ($n = 7$; Moyenne $> 8,5$) et négatives ($n = 14$, $M < 3$) avec un écart type faible. Lorsque le sujet estime qu'il n'arrive plus à réaliser les exercices, il clique sur un bouton « abandon » qui ferme l'application.

Participants

120 étudiants de DEUG (âge moyen, 21,43 ans) ont participé à cette étude (80% de femmes). Tous les sujets sont novices en musique (pré-test).

Modalités d'interaction ordinateur-participant et contexte de passation

La présentation de la leçon est toujours identique.

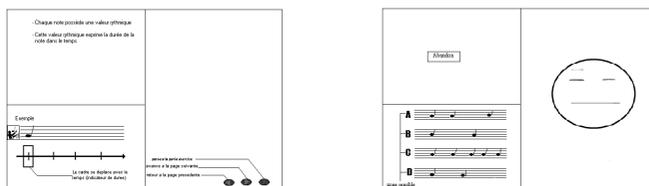


Schéma 1 : Fenêtres de l'application lors de la leçon (à gauche) et des exercices (à droite).

La partie « exercices » présente des modalités d'interaction différentes. Quatre conditions expérimentales ont été réalisées pour permettre à l'ordinateur de dialoguer sous forme de commentaires : soit textuels, soit sonores (voix humaine enregistrée avec des tonalités correspondant aux valences des messages), soit sonores avec simultanément la présentation statique d'un visage iconique à émotion négative ou positive correspondant à la valence des commentaires (cf. schéma 2), soit sonores avec une présentation dynamique de ce même type de visage. Le visage neutre constitue toujours le point de retour après la traduction d'une émotion faciale.



Schéma 2 : Les représentations iconiques des visages (de gauche à droite : expression neutre, négative et positive)

Parallèlement à ces différentes modalités d'interaction, les sujets sont, par effet de consigne, soit répartis dans une condition avec enjeu personnel (leur propre prestation fait l'objet d'une évaluation personnelle : processus d'auto-évaluation), soit dans une condition plus neutre en terme d'image de soi (leur rôle est de réaliser les tâches pour évaluer la qualité ergonomique et pédagogique de l'application dans son ensemble, leçon et exercices : processus d'évaluation externe de la part du sujet).

Mesures

Deux catégories de mesure ont été réalisées. Une première série de variables (mesures de temps) a été enregistrée automatiquement, en cours de passation, par l'ordinateur pour quantifier le degré d'implication du sujet dans les tâches. Une seconde série de mesures permet à l'utilisateur, après la passation de l'épreuve, d'évaluer la qualité de l'interface à l'aide d'un questionnaire (échelles en 5 points en majorité inversées pour éviter tous biais de désirabilité sociale). Cinq mesures d'évaluation ont été réalisées¹. Deux concernent la perception globale de la relation avec l'ordinateur : sentiment de dérangement pendant la passation de l'exercice (de 0 « Peu dérangement » à 4 « Très dérangement ») et de motivation à poursuivre (de 0 « Très motivante » à 4 « Peu motivante »). Les trois autres portent sur l'évaluation de la nature de l'interaction avec l'ordinateur durant la réalisation des exercices difficiles (de 0 « Peu perturbante » à 4 « Très perturbante » ; de 0 « Très sympathique » à 4 « Très antipathique » ; de 0 « Très encourageante » à 4 « Très décourageante »).

2.2. Principaux résultats

Le plan 4 (degré d'humanisation : texte vs voix vs voix + visage iconique statique vs voix + visage iconique dynamique) X 2 (contexte de passation : « avec enjeu personnel » vs « sans enjeu personnel ») a été traité par analyse de variance sur chaque facteur dépendant.

Implication dans la tâche

Le temps passé sur la partie leçon (temps d'apprentissage) est identique pour toutes les conditions (N.S.). Par contre, le temps passé par les utilisateurs dans la partie application suite à la première erreur (première difficulté) montre des différences significatives entre les conditions [F(3,120) = 4,509 ; p<.005].

Types d'interface	Moyenne	Ecart type
Sans visage :	322,35	(255,04)
- Textuelle	294,18	(257,15)
- Audio	350,47	(254,12)
Avec visage :	480	(261,05)
- Audio+Visage Iconique Statique	525,79	(262,29)
- Audio+Visage iconique animé	434,21	(255,95)

Tableau 1 : Temps d'implication moyen (en secondes) selon les conditions

Plus le degré d'humanisation augmente (« Avec visage »), plus les sujets persévèrent dans la réalisation des exercices [F(1,120)=5,515 ; p<.03]. Les sujets qui ont utilisé les interfaces avec visage [M = 480,0 ; SD = 261,05] ont passé plus de temps après la première erreur que les sujets qui ont utilisé les interfaces sans visage [M = 322,3 ; SD = 255,04]. Aucun effet du contexte de passation n'est trouvé, ni aucun effet d'interaction.

¹ Les items sélectionnés pour cette évaluation ont été pré-testés au préalable parmi un questionnaire de 21 items qui permettait à des sujets (population homogène) d'identifier, sur une échelle en 5 points, les termes les plus pertinents pour évaluer les caractéristiques d'une interaction avec une interface d'un cours multimédia. Nous avons retenu les 5 items ayant les plus fortes moyennes (M > 4,27).

Evaluation de la relation avec l'interface

Les sujets qui utilisent une interface avec visage ont plus tendance que les sujets de la condition « Sans visage » à percevoir les réactions de l'ordinateur comme dérangeantes [F(1,119) = 2,94 ; p<.09 ; M = 3,53 vs 3,20] et peu motivantes [F(1,119) = 5,29 ; p<.03 ; M = 3,42 vs 2,98].

Type d'interface	Evaluation du dérangement	Evaluation de la motivation
Sans visage	3,20 (1,36)	2,98 (1,07)
Avec visage	3,53 (1,05)	3,42 (0,98)

Tableau 2 : Perception globale de la relation avec l'ordinateur selon les conditions « sans visage vs avec visage »

Si on s'intéresse maintenant plus précisément aux effets d'interaction, lors de la réalisation des exercices difficiles, des facteurs « types d'interfaces » et « contexte de passation », on note un effet significatif pour l'évaluation du sentiment de perturbation [F(3,120) = 3,93 ; p<.01] et d'encouragement [F(3,120) = 3,02 ; p<.03] et de sympathie [F(3,120) = 4,97 ; p<.003]. Avec les conditions humanisées, les sujets « sans enjeu personnel » perçoivent la relation avec l'ordinateur comme plus perturbatrice, plus antipathique et plus décourageante que les personnes de la condition « avec enjeu personnel ». Au contraire, avec les interfaces non humanisées (textuelle et sonore), les personnes de la condition « sans enjeu personnel » jugent moins perturbantes, plus encourageantes et plus sympathiques les interfaces que les sujets de la condition « avec enjeu personnel ».

Type d'interface	Evaluation de la perturbation (de 0 Peu à 4 Très)		Evaluation de la sympathie (de 0 Très à 4 Peu)		Evaluation de l'encouragement (de 0 Très à 4 Peu)	
	Contexte « sans enjeu »	Contexte « avec enjeu »	Contexte « sans enjeu »	Contexte « avec enjeu »	Contexte « sans enjeu »	Contexte « avec enjeu »
Textuelle	2.53 (1.06)	2.93 (1.03)	2.46 (1.24)	3.33 (1.23)	2.86 (1.18)	3.53 (0.91)
Audio	2.28 (1.38)	3.06 (1.27)	3.21 (1.18)	4.06 (0.80)	3.0 (1.03)	3.80 (0.77)
Audio + Visage iconique statique	3.13 (1.18)	2.33 (1.11)	3.47 (1.06)	2.93 (1.27)	3.73 (0.60)	3.33 (1.11)
Audio + Visage iconique animé	3.20 (0.77)	2.40 (1.05)	3.60 (1.29)	2.60 (1.18)	3.53 (1.18)	3.26 (0.80)

Tableau 3 : Evaluation lors des exercices difficiles de l'interaction selon les conditions

3. DISCUSSION

Cette étude met en évidence les réactions différentes des utilisateurs selon le degré d'humanisation de l'interface. Pour les mesures d'implication du sujet dans la tâche, nos résultats corroborent ceux relevés dans la littérature (Takeuchi, 1995 ; Sproull & Walker, 1996, etc.). Plus l'interface est humanisée, plus les sujets persistent à résoudre les exercices qui sont difficiles et/ou impossibles à terminer. On retrouve ici l'effet de facilitation sociale certainement imputable à la volonté de vouloir se présenter de manière positive. Par contre, en terme d'évaluation relationnelle, nous ne trouvons pas de valorisations positives en faveur des interfaces humanisées. Elles sont globalement perçues comme peu motivantes et plutôt perturbatrices. Cette évaluation négative est en contradiction avec les résultats de la plupart des recherches. Elle découle des différences de contexte de passation utilisées dans notre expérience. En effet si l'on se place dans un contexte évaluatif pour le sujet (condition « avec enjeu personnel »), l'interface humanisée apparaît comme moins perturbante, plus encourageante et plus

sympathique (on retrouve les résultats de soutien social conformes à ceux évoqués dans la littérature). Inversement, dans le contexte « sans enjeu personnel », l'interface humanisée est perçue comme plutôt perturbante, antipathique et peu encourageante. Différentes explications, à ces résultats contradictoires, sont possibles :

- Les sujets ne s'attendent pas à une situation d'échec (statut d'évaluateur), d'où un sentiment de frustration (réaction négative) lorsqu'ils n'arrivent pas à terminer l'exercice. L'interface humanisée est alors dévalorisée car elle nuit plus à l'auto présentation positive du sujet que les interfaces plus « matérielles ».

- Les sujets sont embarrassés de devoir dialoguer avec une interface humanisée car elle revêt intrinsèquement des caractéristiques anthropomorphiques de nature plus « évaluative » alors que la tâche ne s'y prête pas (sans enjeu pour leur propre image personnelle). Elle devient donc plus déstabilisante pour l'estime de soi du sujet et ils lui préfèrent alors une interface « plus traditionnelle ».

- Enfin, les sujets mis dans une situation d'évaluateur ont plus de réticences pour émettre des jugements à l'encontre d'un dispositif aux caractéristiques plus « humaines », d'où un sentiment de malaise qui dégrade la perception de l'interface humanisée.

On retiendra que les interfaces humanisées affectent bien l'interaction Homme-Machine au niveau du comportement et de l'attitude des sujets (effet d'anthropomorphisme). Mais ces modifications ne sont pas toujours similaires, elles varient selon le contexte de réalisation de l'activité (« avec enjeu personnel » vs « sans enjeu personnel »). Des approfondissements dans cette perspective pourraient apporter de nouveaux éléments de réflexion utiles au développement des interfaces humanisées.

Bibliographie

- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action*. Englewood cliffs: Prentice-Hall.
- Bates, J., (1994). The role of emotion in believable agents. *Communications of the ACM*, 37, 7, 122-125.
- Bell, G., Ling, D., Kurlander, D., Miller, J., Pugh, D., Skelly, T., Stankosky, A., Thiel, D., Van Dantzych, M., Wax, T., (1996). Lifelike computer characters: the persona project at Microsoft Research. In J. Bradshaw (ed.). *Software Agents*. MA: MIT Press.
- Blumberg, B., (1994). Action selection in Hamsterdam: lessons from ethology. In Cliff, D., Husbands, P., Meyer, J.-A. and Wilson, S. (Eds.), *From Animals to Animats 3: Proceedings of the third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, pp.108-117. Cambridge, MA: MIT Press
- Don, A., Brennan, S., Laurel, B., Shneiderman, B. (1992). Anthropomorphism: from Eliza to Terminator 2. In *Proceedings of the CHI'92 Conference of Human Factors in Computing Design*, 67-69. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Elliot, C., (1994). Multi-Media communication with emotion-driven "Believable Agents". In *Working Notes for the AAAI spring symposium on believable agents*. American Association for Artificial Intelligence. 16-20.
- King, W.J., & Ohya, J. (1996). The representation of agents : anthropomorphism, agency, and intelligence. In *CHI '96 Conference Companion of Human Factors in Computing System*, 289-290. MA : Addison – Wesley.
- Kozierok, R., (1993). A learning approach to knowledge acquisition for Intelligent Interface Agents. *SM Thesis*, Department of Electrical Engineering and Computer Science. MIT: Boston.
- Lanier, J., (1995). Agents of Alimentation. *Interactions*, July, 66-72. ACM Press.
- Lashkari, Y., Metral, M. & Maes, P., (1994). Collaborative Interface Agents. In *Proceedings of the national Conference of Artificial Intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Laurel, B., (1990). Interface Agents: Metaphors with Character. In B. Laurel (ed.) *The Art of Human-Computer Interface Design*. Reading, MA: MIT Press.
- Lee, Y. & al. (1995). Realistic modeling for facial animation. In *SIGGRAPH'95 Conference Proceedings on Computer Graphics Annual Conference Series*. 35-62.
- Maes, P., (1995). Intelligent software. *Scientific American*. September, 84-86.
- Nass, C., Moon, Y., Fogg, B., Reeves, B., Dryer, D.C. (1995). Can Computer Personalities Be Human Personalities ? In *Proceedings of CHI'95 Conference of Human Factors in Computing Systems*. Reading, Ma : Addison-Wesley, 228-229.

- Oren, T. & al. (1990). Guides: Characterizing the Interface. In B. Laurel (ed.). *The Art of Human-computer Interface Design*. Reading, MA : Addison-Wesley, 367-381.
- Schneiderman, B., (1995). Looking for the Bright Side of User Interface Agents. *Interaction*, January, 13-15.
- Sheth, B., (1994). *A learning approach to personal information filtering*. Master's Thesis. MIT Media Lab.
- Sproull, L., Subramani, M., Kiesler, S., Walker, J.H. & Waters, K. (1996). When the interface is a face. *Human-Computer Interaction*, 11, 125-156.
- Takeuchi, A. & al. (1995). Situated facial Displays: Toward Social interaction. In *Proceedings CHI'94, Conference of Human Factors in Computing Systems*. Reading, MA: Addison-Wesley. 450-454.
- Thorisson, K. (1996). *Communicative humanoids: a computational model of psychosocial dialogue skills*. Dottoral Dissertation, Program in Media Arts and Sciences, MIT. July.
- Walker, J., & al. (1994). Using a Human Face in an Interface. In *Proceedings CHI'94, Conference of Human Factors in Computing Systems*. MA: Addison-Wesley, 85-91.

Étude expérimentale de l'applicabilité de modèles¹ d'agrégation flous à l'étude de la charge mentale²

Eric Raufaste, Patrice Terrier

Laboratoire Travail et Cognition (UMR 5551 du CNRS)
MDR-UTM - 5, Allées A. Machado 31058 Toulouse Cedex
raufaste@univ-tlse2.fr ; terrier@univ-tlse2.fr

Michel Grabisch

Laboratoire LIP6 - UPMC
Case 169 / 4, place Jussieu
75 252 Paris CEDEX 05
Michel.Grabisch@lip6.fr

Jérôme Lang, Henri Prade

IRIT (UMR 5505 du CNRS)
Université Paul Sabatier - 31062 Toulouse Cedex
prade@irit.fr ; lang@irit.fr

RÉSUMÉ

La mesure de charge mentale subjective est utilisée pour évaluer la difficulté ressentie face à une situation de travail. La méthode NASA-TLX calcule une valeur globale par agrégation de 21 mesures obtenues relativement à six sources de charge mentale. Le modèle d'agrégation usuel est une moyenne des estimations élémentaires, pondérée par l'importance relative des six sources. La théorie des ensembles flous ayant développé des méthodes d'agrégation plus sophistiquées, les résultats présentés sont relatifs à l'évaluation de l'apport potentiel de trois modèles d'agrégation flous pour le calcul de la note globale de charge mentale : maximum pondéré, moyenne pondérée ordonnée et intégrale de Sugeno. L'étude prenait en référence la note fournie par la NASA-TLX et une mesure directe de la charge mentale subjective globale. Les résultats suggèrent que l'intégrale de Sugeno serait le modèle d'agrégation le plus puissant et offre la perspective d'une nouvelle méthode capturant mieux la charge mentale tout en n'utilisant que 7 mesures au lieu de 21, sous réserve que suffisamment de sujets soient disponibles.

MOTS-CLÉS

Charge Mentale Subjective, NASA-TLX, Ensembles Flous, Agrégation Multi-Critères.

1 POSITIONNEMENT DU PROBLEME

La mesure de charge mentale subjective est utilisée dans l'étude des situations de travail car elle permet d'obtenir des informations spécifiques sur les difficultés ressenties par les opérateurs. En effet, des indices plus objectifs, comme l'enregistrement du rythme cardiaque, ne traduisent pas nécessairement tout ce qui est ressenti. D'autre part certaines situations ne se prêtent pas à la mise en place des dispositifs relativement lourds requis pour le recueil des mesures objectives. C'est ainsi que plusieurs méthodes d'évaluation de la charge mentale subjective ont vu le jour dans le cadre d'études relatives à la navigation aérienne (Cooper-Harper, Cooper & Harter, 1969; SWAT, Reid & Nygren, 1988; NASA-TLX, Hart & Staveland, 1988). La dernière de ces méthodes, la NASA-TLX (Task Load Index, développée à la NASA) recompose une note globale par agrégation de mesures prises sur six dimensions de la charge mentale, supposées indépendantes et envisagées comme "sources" de charge mentale. Dans le présent article, nous appellerons "cotes" les mesures prises sur chacune des sources,

¹ Nous employons ici le terme de "modèle" au lieu de "opérateur", afin de ne pas interférer avec le sens particulier que prend habituellement ce dernier terme en psychologie ergonomique.

² Cette étude a été subventionnée par l'INRS, convention N° 5001053 "Application des ensembles flous à l'acquisition et au traitement de données issues d'évaluations subjectives de la charge de travail à dominante mentale". Nous remercions particulièrement Daniel Liévin et Michel Neboit, de l'INRS.

et "poids" les importances relatives des sources de charge mentale dans le calcul de la note agrégée. La NASA-TLX utilise le modèle de la moyenne pondérée, calculée à partir de 21 mesures prises sur les sujets : six cotes, relatives aux six sources de charge mentale qu'envisage cette méthode³, et 15 comparaisons binaires d'importance entre les sources de charge prises deux à deux. Ces comparaisons binaires donnent une matrice d'où dérivent, pour chaque sujet, six poids correspondant à l'importance relative des six sources dans la charge globale.

Le présent travail aborde la question des mesures individuelles minimales qu'il est nécessaire de recueillir pour composer une note globale utilisable, ainsi que celle du modèle mathématique d'agrégation qu'il est opportun de mettre en œuvre. D'un point de vue formel, il existe trois types principaux de modèles de base pour l'agrégation : les modèles qui utilisent un "et" logique et qui donnent un score élevé si tous les scores sont élevés, les modèles qui utilisent un "ou" logique et donnent un score élevé dès qu'un des scores est élevé, et les modèles du type moyenne qui sont compensatoires et donnent un score intermédiaire. Ces modèles peuvent intégrer l'importance relative des critères dans l'agrégation de scores élémentaires en un score global.

L'objectif du présent travail est d'évaluer si des modèles mathématiques d'agrégation différents, plus qualitatifs ou requérant moins de mesures, pourraient remplacer avantageusement la moyenne pondérée dans l'étude de la charge mentale subjective. L'étude présentée ici n'a pas vocation à traiter de tous les opérateurs possibles, mais simplement d'évaluer si au moins certains d'entre eux pourraient offrir des avantages comparativement à la moyenne pondérée. Dans cette perspective, nous ne considérerons ici que trois modèles d'agrégation issus de la théorie des ensembles flous : le maximum pondéré (Dubois & Prade, 1986), la moyenne pondérée ordonnée ("Ordered Weighted Average", ou OWA, Yager, 1988) et l'intégrale de Sugeno (Sugeno, 1977). Deux autres méthodes seront prises en référence : la moyenne pondérée et la mesure directe d'une évaluation subjective globale unique. Dans ce dernier cas, l'agrégation n'est pas mathématique, mais directement réalisée par le système cognitif du sujet.

2 METHODE

L'idée générale était de générer des situations susceptibles d'induire des différences objectives de charge mentale chez les participants, puis de procéder à des mesures objectives et subjectives de charge mentale. Sous l'hypothèse que la charge mentale subjective doit refléter peu ou prou les différences objectives de charge mentale, on peut s'attendre à observer des différences subjectives en présence de différences objectives. Les modèles d'agrégation qui produisent des notes globales capables de capturer ces différences peuvent ensuite être considérés comme plus puissants que les modèles qui ne détectent pas ces différences.

2.1. La situation expérimentale

La situation expérimentale retenue était une double tâche comprenant (1) Une tâche principale, en l'occurrence un jeu de réflexion sur ordinateur; Afin de pouvoir évaluer la capacité des modèles à capturer les différences de charge mentale liées à la nature de la tâche, ainsi que les différences liées au niveau de difficulté pour une même tâche, deux tâches principales différentes ont été utilisées, l'une présentant un caractère dynamique, l'autre non. Pour chacune de ces tâches, deux niveaux de difficulté ont été proposés aux sujets; (2) Une tâche secondaire indépendante consistant à appuyer sur une touche le plus vite possible lorsque l'écran se met à clignoter. Après une phase de familiarisation avec la tâche secondaire présentée seule, les sujets fournissaient une série d'estimations destinées à servir de données d'entrée pour les différents algorithmes d'agrégation testés.

Les deux tâches principales

Le premier jeu retenu était le "démineur", un jeu populaire pour lequel il est possible de sélectionner des participants présentant différents niveaux d'expertise initiale. Le jeu se présente initialement sous la forme d'un rectangle de taille paramétrable et décomposé en cases carrées, grisées et en relief. Un certain nombre de "mines" sont disposées aléatoirement dans le damier, de sorte qu'au début du jeu chaque case peut être soit neutre, soit minée, sans que le joueur ne dispose d'aucune

³ Les 6 sources envisagées sont : activité physique; activité mentale; contraintes temporelles; performances personnelles; satisfaction-frustration; effort.

information lui permettant de savoir lesquelles. Le but du jeu est de déminer toutes les cases non minées sans exploser sur une mine, et ce dans le minimum de temps. Le niveau de difficulté (novice ou expert) dépend du nombre de cases à déminer et du nombre de cases minées.

Le second jeu était le "tétris", jeu célèbre pour lequel il est possible de sélectionner des sujets présentant différents niveaux d'expertise initiale. Il se présente sous la forme d'une colonne dans laquelle des éléments de forme géométrique tombent verticalement à des vitesses augmentant avec le niveau de difficulté. Lorsqu'une pièce rencontre le fond ou une pièce déjà posée, elle s'arrête. Pendant la chute de la pièce, le joueur peut la déplacer sur l'axe horizontal au moyen des flèches gauche et droite. Il peut aussi provoquer une rotation de la pièce dans le sens anti-horaire (flèche "haut") afin d'optimiser l'emboîtement de la nouvelle pièce avec les pièces déjà posées au fond. Le joueur peut provoquer la chute immédiate d'une pièce en appuyant sur la touche "bas". Lorsqu'une ligne est pleine, elle disparaît. Le joueur libère ainsi de l'espace. Le joueur marque des points lorsqu'une pièce s'empile, et surtout lorsqu'une ligne disparaît. Le but du jeu est d'accumuler le plus de points possible avant la fin de la partie, qui survient lorsque l'empilement des pièces atteint le sommet de la colonne.

La tâche secondaire

La bordure du terrain de jeu, normalement grise, clignotait en rouge à intervalles réguliers (30s). Cette stimulation étant très saillante, le joueur ne pouvait éviter de la remarquer. La tâche secondaire du sujet consistait à arrêter le clignotement le plus vite possible, en appuyant sur la touche "Echap", en haut à gauche du clavier. Avant l'expérience, les sujets recevaient une phase de familiarisation avec la tâche. Cette familiarisation consistait en une série de dix essais où le participant réalisait la tâche secondaire seule. Elle était réalisée avant chaque nouvelle condition de tâche principale. Les participants recevaient pour consigne de laisser le doigt sur le bouton en permanence, ceci afin de réduire les pertes de temps parasites liées au déplacement de la main et à la recherche du bouton. Du point de vue de l'indépendance des deux tâches, au plan moteur, il faut noter que la tâche principale se pilote entièrement avec la main droite (souris pour le démineur, touches "haut", "bas", "droite" et "gauche" pour le tétris), tandis que la tâche secondaire n'utilise que la main gauche (touche "Echap" à gauche du clavier).

2.2. Les participants

Les participants à l'expérience ($n = 48$) étaient des étudiants bénévoles recrutés sur le campus de l'Université Toulouse-II. Trente participants étaient des femmes et dix-huit des hommes. Afin d'assurer une diversité des niveaux d'expertise, certains avaient déjà une expérience du démineur et/ou du tétris, tandis que d'autres n'en avaient aucune. Toutefois, ne pouvant nous baser sur les dires des sujets pour évaluer leur niveau d'expertise, nous avons préféré opérer la classification du niveau d'expertise en prenant comme critère la médiane des meilleures performances pour le tétris, et la réussite d'au moins une partie de niveau "novice" pour le démineur.

2.3. Les mesures recueillies

Mesures subjectives de charge mentale

Les mesures subjectives étaient de trois types : (1) des estimations d'importance des sources; (2) des estimations de charge sur chacune des sources (cotes); (3) une mesure globale de charge mentale.

_ En ce qui concerne les poids, la méthode de la NASA-TLX consiste à faire procéder à 15 comparaisons : les participants doivent déterminer, pour chacun des 15 appariements possibles de sources, quelle source contribue le plus à la charge mentale (choix forcé). A cet effet, un écran a été présenté aux participants pour chaque paire de sources. L'écran donnait la consigne ainsi qu'un rappel de la signification de chaque source. Le participant disposait de deux cases à cocher, initialement vides, et devait cocher la case correspondant à la source la plus importante. Lorsqu'une case avait été cochée, un bouton OK de confirmation apparaissait. Le participant pouvait changer son choix avant de confirmer.

_ En ce qui concerne les cotes, une question était posée pour chaque source, du type :

"PERFORMANCE. Comment pensez-vous que vous avez réussi à accomplir les buts de la tâche fixés par l'expérimentateur (ou fixés par vous-même) ? Dans quelle mesure êtes-vous satisfait(e) de votre performance dans l'accomplissement de ces buts ?"

Le recueil des estimations sur chaque source était réalisé au moyen d'un curseur déplaçable par la souris. Le curseur, encadré par des marqueurs sémantiques, retournait une valeur comprise entre 0 et 100. Ces valeurs numériques n'étaient pas connues des sujets qui donnaient ainsi une réponse analogique. Outre les cotes sur les 6 sources de charge envisagées par la NASA-TLX, nous avons ajoutée une septième question afin de mesurer l'estimation globale de la charge mentale des sujets :

"ESTIMATION GLOBALE: Globalement, à quel degré jugez vous que la charge mentale liée à la tâche était importante ?

La réponse à cette question était donnée au moyen du même curseur que pour les cotes.

Mesures "objectives" de charge mentale

Dans le but de fournir des critères pour les calculs de qualité des modèles d'agrégation, six indices "objectifs" de charge mentale ont été recueillis. Trois indices directs concernaient la charge mentale sur la tâche principale, tandis que trois indices indirects concernaient la dégradation de performance sur la tâche secondaire.

_ Les indices directs étaient liés au temps de réflexion entre deux actions. Le premier indice était le temps moyen entre deux actions ("moyen T1"). Le deuxième indice était le temps de réflexion maximal calculé à partir des 10 temps de réflexion les plus longs ("maximum T1"). Le dernier indice était le temps de réflexion moyen sur les 100 dernières actions ("récent T1"). La justification pour le choix des deux derniers indices provient de divers travaux qui montrent que la formation des impressions (en particulier affectives) dépend de façon privilégiée du pic de sensations et de la sensation ressentie à la fin de la période d'exposition aux stimuli (Kahneman, Frederickson, Schreiber & Redelmeier, 1993).

_ Les indices indirects ont été calculés sur la base de la dégradation de performance à la tâche secondaire. Le mode de calcul de la dégradation était le suivant. Avant chaque session de jeu, le participant était exposé à la tâche secondaire seule pendant 10 essais. Dans cette phase, le programme générait un clignotement du terrain de jeu avec un intervalle de temps entre deux clignotements choisi aléatoirement entre 5 et 15 secondes. Le sujet arrêta le clignotement en appuyant sur la touche "Echap" et l'ordinateur enregistrait le temps mis pour réagir au stimulus. Le temps de réponse moyen des 4 meilleurs essais a été pris comme base de calcul pour la performance sur la tâche non dégradée. Pendant la phase de jeu, l'ordinateur faisait clignoter le terrain de jeu à intervalles réguliers, toutes les 30 secondes, un délai suffisamment long pour que le sujet en train de jouer ne s'y attende pas. La dégradation était calculée par différence entre le temps de réponse de base (en tâche secondaire seule) et le temps de réponse à la tâche secondaire pendant la phase de jeu. Les trois indices indirects calculés étaient la dégradation moyenne sur l'ensemble des essais ("moyen T2"), la dégradation moyenne sur les 4 derniers essais ("récent T2") et la dégradation maximale calculée à partir des 4 dégradations les plus fortes ("maximum T2").

2.4. Déroulement de l'expérience

Chaque sujet commençait par lire la consigne générale. Ensuite, le sujet effectuait successivement quatre blocs de tâches. Chaque bloc se composait d'une familiarisation à la tâche secondaire seule suivie d'une phase de jeu avec double tâche. Après 15mn de jeu, le sujet recevait la consigne pour les mesures de charge mentale. Ensuite, le sujet répondait aux questions : les 21 questions classiques de la NASA-TLX, la mesure directe de charge mentale subjective globale, et enfin un écran de comparaison directe des importances des critères (non traité dans le présent article). Les quatre blocs correspondaient aux conditions expérimentales (tétris / démineur x facile / difficile). L'ordre de ces conditions était contrebalancé d'un sujet à l'autre, sachant toutefois qu'un même jeu était toujours présenté dans sa condition facile avant d'être présenté dans sa condition difficile.

2.5. Analyse

La note globale produite par la NASA-TLX a été évaluée par la méthode classique (moyenne pondérée). Les poids obtenus par cette méthode ont été transformés en rangs, ce qui a permis de calculer le max pondéré. Le calcul des intégrales de Sugeno a été réalisé sur la base des synergies entre les différentes coalitions de sources ($\{1\}$, $\{2\}$, ..., $\{6\}$, $\{1, 2\}$, $\{1, 3\}$, ... $\{2,3,4,5,6\}$). Les jeux de synergies étaient calculés, pour chaque condition, en fonction de sept indices : la note subjective globale, et les six indices objectifs. Il a donc été obtenu 4×7 jeux de synergies, donnant ensuite 7

notes globales différentes par condition. L'intégration de la contribution respective des sources à chaque coalition constitue une autre méthode de calcul de l'importance des critères, importance donnée par sa "valeur de Shapley" (Denneberg & Grabisch, 1999). Une moyenne pondérée a été calculée en prenant comme critère d'importance de chaque source sa valeur de Shapley, calculée avec la note subjective globale comme critère d'ajustement. Ce même jeu de pondération a aussi été utilisé pour calculer la moyenne pondérée ordonnée (OWA). Afin de tester la capacité des différents modèles à capturer les différences de tâches et de difficulté, nous avons réalisé des ANOVAs univariées à deux facteurs, Tâche x Difficulté, en prenant successivement comme variables dépendantes chacun des modèles d'agrégation considérés pour évaluation.

3 RÉSULTATS

Modèle d'agrégation	Démineur	Tetris	F	Sig.
Note subjective globale	61.12	59.48	0.38	NS
Moyenne pondérée (méthode NASA-TLX)	58.73	60.01	0.19	NS
Moyenne pondérée (par valeurs de Shapley)	53.0	55.5	0.79	NS
Max pondéré	55.40	60.64	6.49	p = .012
OWA (par valeurs de Shapley)	30.4	42.6	27.44	p < .001
Sugeno (d'après valeur subjective Globale)	36.1	48.3	27.92	p < .001
Sugeno (d'après indice moyen de T1)	52.8	68.0	37.00	p < .001
Sugeno (d'après indice maximum T1)	38.3	62.5	116.76	p < .001
Sugeno (d'après indice récent T1)	53.7	67.7	35.34	p < .001
Sugeno (d'après indice moyen de T2)	69.5	59.2	17.94	p < .001
Sugeno (d'après indice maximum T2)	65.6	49.9	42.89	p < .001
Sugeno (d'après indice récent T2)	69.7	62.7	7.75	p = .006

Tableau 1 : Sensibilité aux différences de tâches

Ce premier tableau montre que tous les opérateurs flous testés, et eux seuls capturent les différences entre tâches. Les seuils de signification sont calculés en bilatéral.

Modèle d'agrégation	Facile	Difficile	F	Sig.
Note subjective globale	57.14	63.39	4.01	p=.048
Moyenne pondérée (méthode NASA-TLX)	56.22	62.51	7.32	p=.008
Moyenne pondérée (par valeurs de Shapley)	52.2	56.4	2.62	NS
Max pondéré	56.74	59.38	1.72	NS
OWA (par valeurs de Shapley)	36.8	36.4	0.03	NS
Sugeno (d'après valeur subjective Globale)	43.2	41.2	0.71	NS
Sugeno (d'après indice moyen de T1)	56.2	64.7	12.49	p=.001
Sugeno (d'après indice maximum T1)	47.8	53.3	6.10	p=.014
Sugeno (d'après indice récent T1)	57.0	64.6	10.86	p < .001
Sugeno (d'après indice moyen de T2)	63.6	65.1	0.38	NS
Sugeno (d'après indice maximum T2)	56.4	59.0	1.13	NS
Sugeno (d'après indice récent T2)	65.4	66.9	0.36	NS

Tableau 2 : Sensibilité à la difficulté des tâches

Les degrés de signification du tableau précédent sont calculés en bilatéral. Ce tableau montre que si la NASA-TLX produit une bonne estimation, la note subjective globale et les intégrales de Sugeno fondées sur les indices objectifs de charge primaire détectent aussi les différences de difficulté.

Jusqu'à 39% de la variance sur l'intégrale de Sugeno sont expliqués par les conditions de tâche et de difficulté (10% pour l'intégrale basée sur la note subjective globale). C'est une excellente performance pour ce type d'analyse, performance que l'on peut rapporter à moins de 3% de variance de la NASA-TLX et de la note subjective globale expliqués par les différences inter- et intra-tâches.

Modèle d'agrégation	Variance expliquée (R ² ajusté)
Note subjective globale	1.0%
Moyenne pondérée (méthode NASA-TLX)	2.4%
Moyenne pondérée (par valeurs de Shapley)	< 1%
Max pondéré	3.3%
OWA (par valeurs de Shapley)	13.5%
Sugeno (Global)	12.0%
Sugeno (Mean T1)	22.1%
Sugeno (Max T1)	41.0%
Sugeno (Recent T1)	20.4%
Sugeno (Mean T2)	7.5%
Sugeno (Max T2)	17.8%
Sugeno (Recent T2)	3.3%

Tableau 3 : Pourcentage de la variance des notes globales expliquées par les facteurs Tâche x difficulté

4 DISCUSSION

En première analyse, les résultats sont très encourageants dans la perspective d'appliquer les modèles d'agrégation flous à l'étude de la charge mentale subjective : seuls les modèles flous capturent les différences entre tâches. Le max pondéré, en particulier, est intéressant à cet égard car il ne requiert pas plus de sujets que la NASA-TLX. Nous pouvons donc d'ores et déjà suggérer que les études utilisant la NASA-TLX complètent l'utilisation de la moyenne pondérée par l'utilisation d'un max pondéré. L'intégrale de Sugeno possède une propriété qui pourrait s'avérer intéressante dans certaines études : elle permet de combiner des mesures subjectives avec des indices objectifs, ce qui donne, dans notre étude, les meilleurs résultats. Tout ceci soulève une question d'ordre plus théorique : si des modèles mathématiques qualitatifs capturent mieux les différences de charge mentale qu'un modèle d'agrégation quantitatif comme la moyenne pondérée, il se pourrait que les mécanismes cognitifs sous-jacents à la production des estimations subjectives soient eux-mêmes qualitatifs.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Cooper, R.P., & Harper, Jr (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities* (Report NASA TN-D-5153), Moffett Field, CA, Ames Research Center, National Aeronautics and Space Administration.
- Denneberg D., & Grabisch, M. (1999). Interaction transform of set functions over a finite set. *Information Sciences*, 121, 149-170.
- Dubois, D., & Prade, H. (1986) Weighted minimum and maximum operations in fuzzy set theory. *Information Sciences*, 39, 205-210.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P.A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (p. 139-185). Amsterdam, The Netherlands: North Holland Press.
- Kahneman, D., Fredrickson, B.L., Schreiber, C.A., & Redelmeier, D.A. (1993). When more pain is preferred to less: adding a better end. *Psychological Science*, 4, 6, 401-405.
- Reid, G.B., & Nygren, T.E. (1988). The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (p. 185-218). Amsterdam, The Netherlands: North Holland Press.
- Sugeno, M. (1977). Fuzzy measures and Fuzzy Integrals: A survey. In M.M. Gupta, G.N. Saridis, and B.R. Gaines (Eds.), *Fuzzy automata and decision processes* (pp 89-102), North-Holland.
- Yager, R.R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision-making. *IEEE Trans, Systems, Man & Cybernetics*, 18, 183-190.

Session 5
Intervention et changement

La mise en place de documents professionnels en entreprise : la psychologie ergonomique à la croisée de l'ergonomie cognitive et de la psychologie sociale ?

Eric Brangier & Javier Barcenilla

Université de Metz,

UFR Sciences Humaines et Arts

ETIC – Equipe Transdisciplinaire sur l'Interaction et la Cognition

Ile du Saulcy 57045 Metz cedex 1

brangier@zeus.univ-metz.fr & barcenilla@zeus.univ-metz.fr

RÉSUMÉ

Le développement récent des documents professionnels dans les entreprises pose des problèmes relevant, à la fois de l'ergonomie cognitive (lisibilité des textes, compréhension des procédures, compatibilité des actions écrites avec les actions réelles) et de la psychologie sociale (appropriation des nouvelles consignes, stratégie d'acceptation ou de résistance de la part des acteurs). Plutôt que d'opposer ces approches, cet article tente de les comparer et de mesurer l'efficacité relative d'interventions de nature ergonomique vs psychosociale. La mise en place de documents sécurité et de la certification qualité dans deux entreprises, nous sert de point de départ pour construire deux interventions visant à accroître l'usage des documents. Ces interventions ont pour objectif, soit d'améliorer l'ergonomie des documents, soit d'amener les opérateurs, par des techniques d'influence sociale, à utiliser ces documents. Comparés à des groupes contrôles, les groupes d'opérateurs ayant subi les interventions ergonomique ou psychosociale s'avèrent beaucoup plus enclins à faire ce qu'on attend d'eux. Au-delà de démontrer l'efficacité des interventions, ces résultats nous amènent à nous interroger sur l'opportunité de croiser les perspectives sociales et cognitives lors d'intervention en psychologie ergonomique.

MOTS-CLÉS

Document professionnel, Intervention en organisation, Compréhension, Usage.

1. INTRODUCTION

Sous l'impulsion des nouvelles technologies, de la certification qualité, du développement de l'hygiène et de la sécurité et de la mise en place de nouvelles formes d'organisations du travail, nous assistons à un véritable essor de l'écrit dans des situations de travail qui, encore récemment, en étaient dépourvues. En effet, de nombreux salariés font l'expérience d'une augmentation de documents professionnels : consignes de sécurité, modes et gammes opératoires, cahier de relève de poste, manuels d'utilisation, notices techniques... qui guident, organisent et/ou contrôlent leur activité. Ces écrits se présentent sous la forme de textes procéduralisés qui visent à donner à l'opérateur une consigne d'action pour réaliser son travail. Ces documents sont donc des aides au travail, dans le sens où leur objectif est d'amener les opérateurs à une efficacité supérieure, par exemple, en garantissant la sécurité des personnes, en diffusant des connaissances sur les procédures de travail, en fiabilisant les installations ou encore en certifiant la qualité.

Or, la mise en place de tels documents pose un certain nombre de problèmes. C'est parfois à cette occasion que les entreprises prennent conscience de l'illettrisme d'une partie de leur personnel ; certains salariés ne pratiquant pas ou plus l'écrit depuis plusieurs années (Barcenilla & Brangier, 1998 ; Brangier & Barcenilla, 2000a). Dans d'autres cas, on assiste à une sous-utilisation des documents. Ces derniers sont bien présents au poste, mais ne sont ni lus ni remplis par le personnel.

Ces écrits ne satisfont pas leurs objectifs de qualité et de productivité, et ce pour deux raisons principales :

- Le niveau « d'utilisabilité » des documents est souvent insuffisant pour en permettre un usage adapté, si bien que le lecteur a une compréhension insuffisante ou erronée des consignes. Afin de réduire ces problèmes plusieurs auteurs (Wright, 1981, 1988 ; Boullier, 1990, Boullier et Legrand, 1992 ; Heurley, 1994 ; Veyrac, Cellier, & Bertrand, 1997, Veyrac, 1998, Barcenilla & Brangier, 2000, Brangier & Barcenilla, 2000c) ont fourni des recommandations pour améliorer l'ergonomie des documents professionnels notamment en augmentant la lisibilité, en intégrant un modèle de l'opérateur, en simplifiant la syntaxe, en expliquant le vocabulaire, etc. Pour que l'opérateur puisse utiliser ces fonctions décrites dans les écrits professionnels, ces dernières doivent présenter un bon niveau d'utilisabilité. L'utilisabilité d'un document correspond à l'adaptation de ce dernier aux caractéristiques de l'utilisateur. L'utilisabilité d'un écrit professionnel implique qu'il soit efficace, efficient et satisfaisant (Jordan, 1998). L'efficacité du document représente sa capacité à produire l'effet qu'on attend. L'efficacité provient donc des qualités linguistiques et physiques du document à induire l'effet souhaité, à savoir la prise en compte d'une consigne donnée dans le travail. L'efficience du document est la capacité qu'il a d'accompagner une tâche donnée avec un minimum d'effort. Plus l'effort d'usage est faible, plus l'efficience est élevée. L'effort peut être mesuré de plusieurs manières : par le temps mis pour lire le document, pour le comprendre, par la conformité de la tâche réalisée avec les consignes, ou encore par le nombre d'erreurs. L'efficience désigne donc le rendement d'un comportement d'usage d'un document professionnel. La satisfaction correspond au confort ressenti par l'opérateur lorsqu'il utilise un document. La satisfaction est donc l'indice de l'acceptation du fait que le document est un moyen appréciable de satisfaire les buts de l'utilisateur. La satisfaction est généralement corrélée avec l'efficacité et l'efficience. La satisfaction est donc une évaluation subjective provenant d'une comparaison entre ce que l'acte d'usage apporte à l'individu et ce qu'il s'attend à recevoir.
- Ceci étant, l'usage d'un document ne dépend pas uniquement de son utilisabilité, mais aussi de son appropriation par les opérateurs, ou autrement dit, des formes de régulations sociales s'établissant entre l'opérateur, l'organisation de son travail, et les documents en tant qu'ils sont situés dans des pratiques sociales données. Cette transaction entre l'individu et son environnement renvoie à l'analyse et à l'intervention sur les facteurs psychosociaux de l'implantation des nouveaux dispositifs de travail. Ces régulations soulignent que la mise en place de nouveaux dispositifs est toujours une situation de changement plus ou moins acceptées par les opérateurs. Dans le cadre d'une amélioration de la qualité, Eklund (1997) a notamment insisté sur la nécessité d'associer le personnel au processus de mise en place des écrits comme facteur d'usage futur des nouvelles consignes. Encore, à propos de la certification qualité, Cochoy, Garel et Terssac (1998) ont montré que la participation des salariés à la démarche qualité était un facteur de mobilisation du personnel et de réussite de la certification. Le rôle du management a également été défini comme central dans le développement des documents, notamment lorsque l'écrit est destiné à un changement des comportements professionnels. En effet, en rééditant et en diffusant des documents qui n'avaient pas lieu d'être diffusés il y a quelques années, l'entreprise fait jouer à l'écrit un rôle de transformateur organisationnel (Brangier & Barcenilla, 2000b) : le passage d'une organisation taylorienne basée sur des savoir-faire oraux à une organisation flexible basée sur les compétences énoncées dans des documents professionnels.

Ainsi, l'usage des documents dans les entreprises semble dépendre de facteurs ergonomiques permettant de prendre en compte le niveau d'utilisabilité des documents, et de facteurs psychosociaux relevant de l'engagement du personnel dans le processus de mise en place des documents, c'est-à-dire des formes d'influence sociale déterminant l'engagement des opérateurs dans les conduites préconisées par ces documents professionnels.

L'objectif de cette communication est précisément de discuter l'importance relative des aspects ergonomiques et psychosociaux du développement des écrits professionnels dans deux entreprises. A partir de deux situations d'intervention, l'une dans le domaine des consignes de sécurité et de leur respect, l'autre dans le domaine des documents qualité, nous soulignerons l'intérêt de développer une approche qui vise à croiser les facteurs cognitifs et psychosociaux des situations de travail.

2. REDIGER UN LIVRET SECURITE RESPECTANT LES RECOMMANDATIONS SUR LA COMPREHENSION DES CONSIGNES ET AUGMENTER LE COMPORTEMENT SECURITAIRE DES OPERATEURS

2.1. Contexte de la recherche-action

Les consignes de sécurité sont des règles de comportement que les opérateurs doivent impérativement respecter, car leur transgression peut être catastrophique pour eux, leurs collègues et dommageable pour l'entreprise. Pourtant les consignes ne sont pas toujours respectées.

Comme aucun livret sécurité n'existait dans son entreprise, le responsable sécurité de Lorbois a demandé la rédaction d'un « passeport sécurité »¹. Lorbois fabrique des meubles de milieu de gamme et emploie 450 salariés qui, pour travailler doivent respecter des consignes d'hygiène et de sécurité portant sur :

- la prise de poste ;
- le port des équipements de sécurité (casque de protection auditive, chaussures sécurité, gants) ;
- l'hygiène ;
- les postures de travail ;
- les déplacements dans l'usine.

2.2. Mode d'intervention.

Un livret de sécurité comprenant 20 pages en format-poche a été rédigé. Il rassemblait des informations sur la sécurité au poste et sur les risques professionnels, ainsi que les numéros de téléphone importants. Ce livret, d'une présentation agréable (papier glacé, couleurs, dessin, typographie soignée) respectait les recommandations sur la lisibilité et la compréhensibilité des documents (Hartley, 1994, 1995 ; Barcenilla & Brangier, 2000). L'application de recommandations ergonomiques prêtes à l'emploi a donc permis la rédaction de ce livret, sans qu'une analyse du travail ne soit réalisée, faute de temps et de disponibilité. Autrement dit, ce livret a donc été conçu sans que les opérateurs ne soient associés à l'élaboration, à la rédaction, au test ou encore à la validation du livret. La procédure de recherche-action repose donc essentiellement la mise en œuvre d'une qualité rédactionnelle standard découlant des recherches menées en ergonomie et en psychologie cognitives de la lecture et de la compréhension.

Ceci étant, nous avons cherché à vérifier l'efficacité du livret en créant trois groupes d'opérateurs, qui allaient vivre chacun une influence psychosociale différente :

- Le premier groupe, de 20 opérateurs, a reçu le livret sans autre instruction. Il n'a donc subi que l'influence d'une forme de communication écrite.
- Le deuxième groupe a, quant à lui, subi une procédure de soumission librement consentie (Joule & Beauvois, 1998). La soumission librement consentie consiste à amener une personne à se comporter différemment de son habitude en la manipulant de telle sorte qu'elle ait le sentiment de réaliser librement ce qu'on lui demande. Plus particulièrement, deux à trois jours après avoir reçu le livret, les opérateurs ont été soumis à un questionnaire, utilisé comme « pied dans la porte » et qui servait donc à avoir un premier acte engageant de leur part. Bien évidemment, ce questionnaire orientait les réponses des opérateurs et les amenait à se déclarer favorables au développement de la sécurité dans leur travail (par exemple : pensez-vous que la sécurité doit être une priorité dans votre entreprise ?). Après l'obtention de ce premier acte engageant, les opérateurs étaient sollicités pour participer à une réunion d'une durée de 30 minutes sur le thème de la sécurité, afin de récolter des données pour mener une recherche universitaire. Les opérateurs étaient déclarés libres de venir ou pas à cette réunion. Qui plus est, on leur disait qu'on ne voulait pas les influencer et qu'ils étaient les mieux placés pour savoir s'ils voulaient venir ou pas. Cette réunion se déroulait en groupe de 5 personnes, en dehors du temps de travail et donc non payée par l'entreprise, mais sur le lieu de travail. Par conséquent, les opérateurs étaient mis dans une situation où ils ne pouvaient justifier par une cause externe leur venue à cette réunion. Durant la réunion, les opérateurs étaient interviewés sur la sécurité, sur leur accord pour la développer.

¹ Merci à I.Eberhart pour son travail.

Finalement, pour conclure la réunion, on leur demandait ce qu'ils étaient prêts à faire pour développer la sécurité. A tour de rôle, et donc publiquement devant leurs collègues de travail, ils se sont chacun engagés à accomplir telle ou telle action sécuritaire. Après les avoir remercié de leur collaboration pour cette « prétendue » recherche universitaire, nous prenions définitivement congé.

- Le troisième groupe était le groupe contrôle : 20 opérateurs choisis au hasard n'allaient pas recevoir le livret. En fait, ils l'ont reçu à la fin de l'expérience.

Afin de mesurer l'efficacité des procédures entre le groupe « livret », le groupe « soumission librement consentie » et le groupe contrôle, les opérateurs ont été observés pendant 10 jours. Chaque jour, à une heure aléatoire, le port des protections individuelles (casque, gants, chaussures) des opérateurs a été mesuré. Les 60 opérateurs ont été observés à leur insu afin de noter s'ils portaient les protections ou non. Les opérateurs n'ont pas été informés de cette observation. Par ailleurs, la direction de l'entreprise n'a jamais eu les résultats individuels de cette expérience.

2.3. Résultats.

Le tableau 1 indique l'efficacité de la procédure de soumission librement consentie et l'inefficacité de la diffusion du livret.

Nombre d'opérateurs observés sur 10 jours	Groupe 1 : livret	Groupe 2 : soumission librement consentie	Groupe 3 : contrôle
En défaut (manque au moins une fois une protection)	16	7	14
En sécurité (possèdent toujours les protections requises)	4	13	6

Tableau 1 : Le respect des consignes de sécurité de port des protections individuelles selon les influences réalisées (communication écrite, soumission librement consentie, contrôle).

De toute évidence, les groupes 1 et 3 ne sont pas représentatifs du respect des consignes. Seuls 4 et 6 opérateurs les suivent rigoureusement. Les résultats du groupe 2 présentent un effet positif et montrent que les opérateurs se sont investis et sentis concernés par la sécurité. Les résultats tendent à indiquer qu'une intervention sur les documents, en particulier sur des consignes de sécurité ne peut se réduire à une application de recommandations ergonomiques sur la lisibilité ou la compréhensibilité. Les préconisations ergonomiques, si elles améliorent l'utilisabilité des documents, ne semblent pas induire de changement dans les conduites professionnelles des opérateurs. Par contre, lorsque les opérateurs s'engagent de manière libre, publique, gratuite envers l'accomplissement d'un acte sécuritaire, ils ont tendance à mettre leur comportement en conformité avec leur discours. En d'autres termes, ils réduisent la dissonance entre leur engagement verbal et leur comportement réel, en modifiant ce dernier. Qui plus est, les consignes présentées dans le livret sont classiques et connues de tous les opérateurs. Le livret ne présente donc pas de nouvelles connaissances sur la sécurité, mais rappelle des évidences. Dans cette perspective, il fallait bien s'attendre à ce que le livret n'ait pas d'effet (Brangier, Barcenilla & Eberhart, 2000).

Dans cette intervention, il n'a pas été possible d'analyser le travail des opérateurs pour élaborer avec eux des consignes qui soient adaptées à leur activité réelle. La recherche-action suivante va nous donner l'occasion de comparer cette fois, l'efficacité de l'analyse ergonomique par rapport à l'exercice d'une influence sociale reposant sur la persuasion.

3. AMELIORER LA COMPREHENSION ET L'USAGE D'UN DOCUMENT CERTIFIE QUALITE ISO 9002

3.1. Contexte de la recherche-action.

L'usage des documents ne va pas de soi, surtout lorsqu'il s'agit de faire remonter à la hiérarchie des erreurs, des dysfonctionnements ou des pannes. Pourtant, la certification qualité impose souvent la mise en place d'un retour d'expérience qui s'appuie sur le remplissage par les opérateurs de formulaires qui permettent de recenser les problèmes, et le cas échéant, de leurs trouver des solutions originales. C'est dans cette perspective d'amélioration continue de la qualité et de la satisfaction de sa clientèle que Lorgarage a mis en place des formulaires pour que les mécaniciens fassent remonter au service qualité l'ensemble des problèmes qu'ils rencontrent avec les clients.

Lorgarage est une entreprise, qui regroupe huit concessions automobiles, réparties dans l'est de la France, effectuant toutes les tâches afférentes à l'achat, la vente, l'entretien, la réparation et la location de voitures. Lorgarage emploie plus de 350 salariés dont la majorité est faite de mécaniciens, carrossiers, électroniciens, commerciaux... ayant la particularité d'exercer un métier à forte composante technique et relationnelle : entretien du véhicule et contact avec le client.

Pour mener à bien sa certification-qualité, Lorgarage a constitué un petit groupe de travail afin de rédiger les différents documents, procédures et instructions. Beaucoup de personnes n'ont pas été associées à cette démarche, et très vite la direction s'est rendue compte que certains documents posaient problème. C'était notamment le cas du document de « non-conformité ». Ce document a pour but de révéler au service-qualité l'ensemble des non-conformités observées par le personnel au sein des huit concessions. Dès qu'un opérateur remarque un défaut, une imperfection ou une erreur susceptible de nuire à la qualité du service à la clientèle, il doit la signaler au service-qualité afin que ce dernier puisse apporter une amélioration corrective. D'une certaine manière, il doit s'auto-dénoncer et peut ainsi avoir le sentiment de déclarer qu'il n'a pas fait son travail comme il fallait.

Le document de non-conformité se présente sous la forme d'un formulaire d'une page, qu'il « suffit » de remplir. Bien évidemment, un tel acte de dénonciation de sa propre insuffisance ou de celle de son collègue, faisait que ce document n'était quasiment jamais rempli. De plus, ce document était particulièrement mal rédigé (nombreux codes abscons, lisibilité insuffisante, pas de logique de l'utilisateur...). En bref, tant sur le plan psychosocial qu'ergonomique ce document posait problème.

3.2. Mode d'intervention.

Une fois encore, notre souci a été de créer une situation expérimentale pour démontrer l'efficacité de l'intervention. Cette situation devait permettre de contrôler l'influence des facteurs ergonomiques (présentation du document, qualité rédactionnelle, lisibilité...) et des facteurs psychosociaux (persuasion, conformité aux normes sociales...). Aussi, nous avons créé trois groupes de sujets² :

- Le premier groupe fut composé de 10 opérateurs avec lesquels nous avons travaillé individuellement pour améliorer le document. La compréhension du document a été analysée avec eux. En parallèle, des observations de leur travail ont permis de comprendre que la tâche de non-conformité impliquait une série d'étapes (pré-requis, post-requis, but, moyens...) dont l'organisation devait être compatible avec le travail réel des opérateurs. Qui plus est, le document devait également reproduire cette organisation de l'activité. En fait, ce premier groupe a participé à une intervention relativement classique en ergonomie des documents (tests de compréhension, observations, applications de recommandations, amélioration du document).
- Le deuxième groupe a, quant à lui, subi une influence d'ordre psychosociale visant à persuader 10 opérateurs d'utiliser le formulaire de non-conformité, sans qu'aucune modification n'en soit faite. La procédure d'influence a consisté à obtenir une première adhésion des opérateurs en leur faisant passer un questionnaire composé de cinq questions. A la suite de ce questionnaire, ils étaient invités à participer à une réunion de deux heures visant à récolter des données sur les problèmes qu'ils rencontraient dans leur travail. Cette réunion avait lieu sur leur lieu de travail, durant les heures de travail. Comme prévu, tous les opérateurs ont participé à cette réunion, sans qu'aucun hiérarchie ne soit présent. En réalité, l'objectif de la réunion était de les persuader que les problèmes rencontrés dans le travail pouvaient être résolus en remplissant le formulaire de non-conformité. Concrètement, la réunion s'est déroulée en sept étapes qui s'attachaient à familiariser les opérateurs avec le formulaire et à les persuader de l'utiliser :
 - brève présentation des participants ;
 - rappel de la certification qualité et de ses atouts et enjeux pour les employés ;
 - définition et exemples de non-conformités ;
 - discussion avec les membres du groupe des non-conformités qu'ils ont rencontrées, en quoi cela a-t-il gêné le bon déroulement du travail ? la qualité ? la prestation auprès du client ?
 - lecture collective de la fiche de non-conformité, explication des différentes parties du formulaire ;

² Merci à C.Legrand et F.Turolo pour leur travail.

- deux exercices de simulation, pour bien vérifier qu'ils savaient remplir la fiche ;
- finalement, on leur demandait publiquement s'ils rempliraient plus de fiches si cette dernière se trouvait sur leur poste de travail.
- Enfin, le troisième groupe était un groupe contrôle composé de 10 personnes appariées selon l'emploi, l'âge et l'expérience avec les sujets des groupes 1 et 2, mais ne subissant aucune influence. En réalité, ces sujets ont subi indirectement une influence managériale, qui visait à développer la certification qualité à travers des formations et des communications mises en œuvre par la direction à l'occasion de la certification de l'entreprise.

Une fois ces interventions réalisées, il ne restait plus qu'à quantifier sur le mois suivant le nombre de fiches remplies par les sujets et à comparer l'efficacité des trois procédures.

3.3. Résultats

Au niveau global, le tableau 2 fait apparaître l'efficacité des procédures d'analyse du travail et de persuasion, avec une légère supériorité pour le groupe 2.

Semaines	Groupe 1 : analyse de la compréhension, observation travail et correction du formulaire	Groupe 2 : persuasion d'usage du document	Groupe 3 : contrôle
1ère	3	4	1
2ème	4	5	2
3ème	4	5	2
4ème	5	6	3
Total	16	20	8

Tableau 2. Nombre de fiches reçues par le service qualité sur le mois ayant suivi la recherche-action en fonction des trois situations considérées (ergonomie des documents, persuasion, contrôle)

Le groupe 1 voit son nombre de fiches remplies augmenté sous l'impulsion de l'amélioration de la compréhensibilité du document. En effet, les tests de lecture et de compréhension menés ont souligné de nombreuses lacunes du document :

- les intitulés des sections du document étaient insuffisants, voire inexistantes ;
- les différentes sections étaient présentées sans ordre logique ;
- au niveau syntaxique le document comprenait soit des abréviations, soit des phrases de plus de 20 mots ;
- qui plus est, les abréviations étaient généralement inconnues de la part des opérateurs. A titre d'exemple le sigle « Q » signifiant « qualité », n'était compris que par 2 opérateurs sur 10.
- au niveau du contenu et de la structuration des informations : le but de la procédure n'était pas expliqué et les personnes ne savaient pas à quoi servait cette fiche de non-conformité ;
- le déroulement des actions ultérieures n'était pas précisé non plus : qu'allait faire le service qualité des informations que les opérateurs lui fournissaient ?

En conséquence, la procédure restait floue, et une simplification et explicitation du document s'avéraient nécessaires. Celles-ci ont été faites en s'appuyant sur les observations du travail afin de définir avec les opérateurs des exemples de non-conformités, et de trouver une procédure écrite qui permettait de les régler. Le document remanié, explicitait les procédures et simplifiait la rédaction tout en facilitant la lecture et la compréhension du document (suppression des abréviations, explication des zones à remplir, simplification de la syntaxe, définition explicite de titres ...).

Le groupe 1 a donc participé à une intervention d'ergonomie cognitive qui fut également située socialement. En effet, les individus se sont impliqués dans l'amélioration du document, qu'ils voient à la fin de la correction, comme leur propre produit. Cette amélioration provient donc d'une situation sociale créée par l'intervenant, qui permet à la fois l'analyse du travail et une construction partagée d'une représentation de la tâche d'identification des non-conformités. L'analyse du travail joue en quelque sorte un rôle pédagogique (Clot, 2000) pour expliquer le travail, avec l'objectivation nécessaire, et améliorer le support formel qu'est le document de non-conformité.

Le groupe 2 a plus recours à la fiche de non-conformité que le groupe contrôle, ce qui prouve l'efficacité de la procédure de persuasion. Ici, le document n'a pas été modifié, aucune analyse du travail n'a été réalisée, l'intervenant s'attache à convaincre les opérateurs de l'utiliser en obtenant de leur part un engagement- libre, public et groupal- à le remplir. De plus, les explications et simulations

de cas de non-conformité permettent de pallier le manque d'ergonomie du document. Même si l'effort cognitif de lecture, compréhension et remplissage du formulaire est plus élevé que dans le groupe 1, les résultats du groupe 2 prouvent que la complexité du document pouvait être contournée par de la persuasion. Par ailleurs, il semble que le fait de raconter des expériences de non-conformité, d'y adjoindre des exemples vécus et de partager collectivement ces récits tendent à dédramatiser les dysfonctionnements. C'est sans doute l'ensemble de ces processus d'animation de groupe qui est à l'origine de la bonne performance du groupe 2³.

4. DISCUSSION-CONCLUSION : L'USAGE DES DOCUMENTS PROFESSIONNELS ENTRE ERGONOMIE COGNITIVE ET PSYCHOLOGIE SOCIALE

Fondamentalement, ces deux expériences présentent l'intérêt de croiser des modes d'interventions ergonomiques et psychosociologiques pour améliorer les situations de travail. Elles montrent l'efficacité relative de quatre modes d'intervention : application de recommandations ergonomiques, analyse ergonomique individuelle, soumission librement consentie, persuasion. Elles indiquent donc que l'usage d'un document est, au moins, fonction de deux facteurs :

- l'utilisabilité du document, obtenue par l'application de recommandations ou l'analyse individuelle du travail ;
- les formes d'engagement des opérateurs dans l'acte d'usage des procédures énoncées dans les documents, obtenues par soumission librement consentie, persuasion ou réaction aux influences managériales.

En d'autres termes, un document apparaît d'autant plus utilisé (c'est-à-dire appliqué) qu'il est plus ergonomique et intégré dans les conduites professionnelles. Bien évidemment il s'agissait là d'une hypothèse de départ, mais la question que nous souhaitons aborder à présent n'est pas de montrer la supériorité d'une intervention sur une autre mais plutôt d'envisager un mode d'intervention qui articule à la fois les perspectives de la psychologie sociale et de l'ergonomie cognitive.

Sur le plan social, la mise en place de documents professionnels correspond toujours à une phase de transformation de l'organisation du travail, comme le développement de la certification qualité, le renforcement de la politique sécuritaire ou hygiénistes. Dans ce contexte, le développement de l'écrit inaugure des changements dans les façons de faire et de penser le travail. Ces écrits structurent les modes opératoires, précisent des procédures de travail... en bref, ils constituent une nouvelle forme de prescription du travail. En établissant ce qu'il faut faire, ils restituent la pensée tout en donnant forme à la pensée. Par conséquent, la structure même du savoir organisationnel est modifiée par la manière dont les entreprises s'efforcent de représenter le monde sur le papier. De ce point de vue, le document professionnel constitue une manière d'intervenir sur le social pour le changer. Pour les entreprises, la mise en place de ces référentiels de prescriptions et d'aide-mémoire est toujours un processus transformateur des conditions de réalisation du travail. C'est un processus dynamique qui saisit les opérateurs et les précipite d'un système de travail oral vers l'écrit. C'est également une étape de la vie des entreprises où se constituent des régulations entre les forces de résistance et celles d'innovation conduisant souvent à un changement d'organisation du travail et à des modifications de la culture d'entreprise. Dans ce contexte, les aides écrites sont indissociables de ce qu'elles véhiculent en termes de changements : leur usage est situé dans un contexte plus large et non réductible à leurs seuls aspects de lecture et compréhension. En effet, la mise en place d'écrits professionnels correspond à une forme de redistribution des connaissances au sein des organisations, qui normalisent les pratiques opératoires et imposent une écriture ou une lecture collective à l'ensemble des opérateurs. De cette manière, les écrits prescrivent des comportements et cherchent à influencer les opérateurs en codifiant des règles de travail, là où précisément les opérateurs pouvaient

³ Remarque méthodologique : Il faut cependant souligner, que les données obtenues ne permettent pas de conclure de manière définitive sur la supériorité d'un mode d'intervention ou d'un autre. En effet, il nous manque deux autres groupes expérimentaux, notamment un groupe qui aurait subi à la fois les effets de l'intervention ergonomique et de l'intervention psychosociale, pour déterminer si les effets de ces deux interventions s'ajoutent ou interagissent. Mais pour des contraintes du terrain, on n'a pas pu procéder à cette dernière intervention. Cependant les résultats montrent des effets positifs, à la fois de l'intervention ergonomique et de l'intervention psychosociale. C'est également pour des raisons de contraintes du terrain (appariement des échantillons) que nous n'avons pas pu isoler les effets de la présentation ergonomique de la fiche de non-conformité, puisque le groupe d'utilisateur du document est constitué d'opérateurs ayant travaillé sur le document. Pour valider l'effet de la seule variable « ergonomie du document », il aurait fallu constituer en plus un groupe d'utilisateur non-impliqué dans la rédaction du document.

faire preuve d'autonomie, d'indépendance, voire de clandestinité. Il s'agit donc d'un renforcement potentiel de l'explicite et du contrôle : les documents servant à la fois à définir ce qu'il faut faire et à vérifier ce qui a été fait (Brangier & Barcenilla, 2000d, e, f). En prescrivant le travail, les documents sont donc des produits d'une volonté managériale de résoudre des problèmes du travail (de sécurité, de qualité, de traçabilité, de productivité, de satisfaction clientèle, de formation du personnel...). Pour résoudre ces derniers, les managers engagés, organisent, planifient, adaptent le développement de leurs entreprises, et corrélativement celui des écrits. Par voie de conséquence, les écrits ne sont pas désincarnés ou désolidarisés des pratiques managériales, mais en résultent. Ils s'inscrivent toujours dans un tissu de relations interpersonnelles ou hiérarchiques, dont les caractéristiques psychosociales vont favoriser ou non l'usage du document.

Sur le plan cognitif, l'usage d'un document implique sa lecture, sa compréhension et la mise en acte de ce qui a été compris. Les schémas d'action de l'opérateur vont dépendre des processus cognitifs de traitement des informations que possèdent les individus et qui sous-tendent la situation de compréhension. Différents modèles (Just et Carpenter, 1980 ; Van Dijk et Kintsch, 1983 ; Fredericksen, 1989 ; Mannes et Kintsch, 1991 ; Frederiksen & Donin, 1991 ; Ganier, Gombert & Fayol, 2000) ont tenté d'expliquer le traitement cognitif des textes et les différents niveaux cognitifs mis en jeu, du traitement de l'information perceptive jusqu'à la construction d'une représentation mentale. Mais la rédaction d'une procédure qui respecte des recommandations d'ergonomie linguistique ne suffit pas, il faut encore qu'elle soit compatible avec le travail réel de l'opérateur. L'ordre d'exécution des actions ne suffit pas à elle seule pour rendre une procédure écrite intelligible, il faut aussi associer des informations qui concernent le fonctionnement des systèmes techniques, qui justifient et rendent compréhensible l'application de procédures (Boucheix, Thouilly & Poly, 1995). Par ailleurs, les textes ayant pour finalité la production d'actions nécessitent une structuration qui tienne compte à la fois des contraintes imposées par la situation et des caractéristiques des individus qui réalisent la tâche. Chez des sujets novices ou de faible qualification, une présentation temporelle semble préférable à une présentation hiérarchique. Toutefois, il est difficile de déterminer le degré d'explicitation adéquat à adopter car celui-ci dépend essentiellement de l'expérience que les individus ont de la tâche à réaliser. La construction de textes destinés à transmettre des informations procédurales doit donc dans tous les cas prendre en compte les caractéristiques de la population à qui le texte s'adresse et la nature de tâche qu'ils doivent exécuter. La rédaction de textes procéduraux à visée professionnelle requiert nécessairement une analyse préalable du travail.

En entreprise, les rédacteurs et gestionnaires des documents (responsables qualité, sécurité et méthodes) ont trop souvent tendance à penser que la mise en place de documents correspond à un processus relativement mécanique qui par un accroissement de la quantité d'information donnée à l'opérateur entraîne la conformité du comportement de l'opérateur à ce qui est souhaité par l'entreprise. Il s'agit là d'une simplification causale du comportement humain et d'une méconnaissance profonde de ce que représente, au plan psychologique, un document professionnel. Leur usage correspond à une situation sociale d'acquisition mentale, résultant, à la fois, des propriétés cognitives et sociales associées aux écrits, de l'expérience professionnelle acquise, des stratégies individuelles et collectives des utilisateurs, et des stratégies opératoires fondées à partir de ce que les individus pensent de ce qu'ils font ou ont à faire avec leurs documents. Ainsi, la mise d'une documentation n'est donc pas réductible à un simple déplacement de connaissances textuelles vers des individus humains. Il s'agit d'un processus complexe, qui montre que les individus saisis par une telle mouvance développent des stratégies spécifiques d'appropriation de l'outil et d'invention d'un nouveau rapport au travail. Si ces stratégies dépendent des fonctionnalités et de l'utilisabilité des documents professionnels, elles dépendent aussi du rapport de l'individu au contexte professionnel et des formes d'influence sociale qui y sont développées.

Du coup, la psychologie ergonomique devra sans doute croiser des modes d'intervention relevant de l'ergonomie cognitive (utilisabilité) avec des interventions psychosociales (engagement, appropriation), afin de mesurer si leur conjonction potentialise l'efficacité de l'intervention. C'est à cette question que nous tenterons de répondre par de nouvelles expériences.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Barcenilla, J., & Brangier, E., (1998). *Les mots pour travailler, Analyse de la compréhension des aides au travail par des opérateurs de bas niveau de qualification travaillant dans des entreprises lorraines*. Ministère de l'emploi et de la solidarité, Rapport au GPLI, 138.
- Barcenilla, J., & Brangier, E. (2000). Propositions pour une intervention en ergonomie des aides textuelles au travail. In Ch., El Hayek, (Coord). *Illettrisme et milieu de travail*. Paris : La documentation française, 357-368.
- Boucheix, M., Thouilly, C., & Poly, D. (1995), La transmission des compétences : vers une ergonomie des informations et productions explicatives écrites pour les apprentissages au cours de l'activité de travail. *Performances Humaines & techniques. Dossier : Compétences*. N°75-76, pp. 32-39.
- Boullier, D. (1990) *Genèse des modes d'emploi: la mise en scène de l'utilisateur final*. (Ouvrage collectif). Rennes: Euristic Media.
- Boullier, D. & Legrand, M. (1992) *Les mots pour le faire*. Paris: Descartes.
- Brangier, E., & Barcenilla, J., (2000a). L'entreprise et ses écrits professionnels : nouveaux développements des entreprises et problématique des aides textuelles au travail. In Ch., El Hayek, (Coord), *Illettrisme et milieu de travail*, Paris : La documentation française, 97-111.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2000b). Développement des écrits professionnels et évolution des pratiques managériales. *Utinam*, 5, 158-179.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2000c). Les prescriptions écrites au travail sont-elles efficaces ? *Education Permanente*, 143, 79-96.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2000d). Certification qualité série ISO-9000 et développement des écrits professionnels, 1^{ère} partie, *Qualitative*, 115, 31-38.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2000e). Certification qualité série ISO-9000 et développement des écrits professionnels, 2^{ème} partie, *Qualitative*, 116, 51-48.
- Brangier, E., & Barcenilla, J. (2000f). Certification qualité série ISO-9000 et développement des écrits professionnels, 3^{ème} partie, *Qualitative*, 117, 57-61.
- Brangier, E., & Barcenilla, J., & Eberhart, I., (2000). Evaluation des modalités de communication des consignes « sécurité et prévention » sur les comportements sécuritaires, *Pratiques Psychologiques*, 49-58.
- Clot, Y. (2000). La formation par l'analyse du travail : pour une troisième voie. In B. Maggi (Eds), *Manières de penser, manières d'agir en éducation et en formation*. Paris : PUF.
- Cochoy, F., Garel, J-P., & De Terssac, G. (1998). Comment l'écrit travaille l'organisation: le cas des normes ISO 9000. *Revue Française de Sociologie*. 39, 673-699.
- Eklund, J. (1997). Ergonomics quality and continuous improvement – conceptual and empirical relationships in an industrial context. *Ergonomics*. Vol. 40. 982-1001.
- Frederiksen, C.H. (1989) The representation of procedures: acquisition and application of procedural knowledge. *ICO 89: Colloque International sur l'Informatique Cognitive des Organisations*. Montréal.
- Frederiksen, C.H. & Donin, J. (1991) Constructing multiple semantic representations in comprehending and producing discourse. In G. Denhière & J.P. Rossi (eds.), *Text and Text Processing*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland), 19-44.
- Ganier, F., Gombert, J.-E., & Fayol, M. (2000). Effets du format de présentation des instructions sur l'apprentissage de procédures à l'aide de documents techniques. *Le travail Humain*, 63, 2, 121-152.
- Hartley, J. (1995). Is this chapter any use ? Methods for evaluating text. In *Evaluation of human work*. J.R. Wilson and E.N. Taylor (Eds). London, Taylor & Francis, pp. 285-309.
- Heurley, L. (1994). Traitement de textes procéduraux. Etude de psycholinguistique cognitive des processus de production et de compréhension chez des adultes non experts. Thèse, Université de Bourgogne.
- Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1980). A theory of reading. From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-357.
- Jordan, P.W. (1998). *Introduction to usability*. London : Francis & Taylor.
- Joule, R-V., & Beauvois J-L. (1998). *La soumission librement consentie*, Paris : PUF.
- Mannes, S. M., & Kintsch, W. (1991) Routine computing tasks: planning as understanding. *Cognitive Science*, 15, 305-342.
- Olson, D., R. (1998). *L'univers de l'écrit*. Paris : Retz.
- Van Dijk, T.A. & Kintsch, W. (1983) *Strategies of discourse comprehension*, New York : Academic Press.
- Veyrac, H., Cellier, J.M., Bertrand, A. (1997). Modèle de l'opérateur et modèle du prescripteur : le cas des consignes de résolution de situations incidentelles pour les conducteurs de train. *Le travail Humain*, 60, 4, 387-407.
- Veyrac, L. (1998). Repères pour évaluer le caractère d'aide des consignes. *Performances Humaines & techniques. Dossier Procédures*, 94, 16-22.
- Wright, P. (1981). "The instructions clerally state..." Can't people read?. *Applied Ergonomics*, 12.3, 131-141.

Nouvelles technologies et aide à la compréhension de documents techniques

Construction et expérimentation d'un simulateur de fonctionnement de grues à tour pour l'apprentissage de la notion de courbe de charge chez des grutiers peu lettrés¹

Jean-Michel Boucheix
Université de Bourgogne
LEAD/CNRS-UMR 5022
6, Boulevard Gabriel, 21000 Dijon
Jean-Michel.Boucheix@u-bourgogne.fr

1- INTRODUCTION

La capacité à comprendre et manipuler des documents techniques écrits de type tableaux ou graphes, pour l'obtention d'un examen technique, ou pour apprendre à interagir avec des interfaces complexes, peut être un obstacle pour des professionnels « experts » dans l'action mais peu lettrés, ou non familiers de représentations symboliques abstraites (Fayol, 1992). C'est le problème posé à la formation continue des grutiers : compétents, et maîtrisant parfaitement le système technique de la grue dans l'action, ils doivent obtenir un certificat obligatoire de conduite en sécurité (CACES, recommandation légale de la CNAM), comportant une épreuve théorique de traitement de courbes et tableaux de charges concernant le fonctionnement des grues. La formation dispensée pour la préparation de l'examen est courte (1 à 2 semaines) excluant toute possibilité de ré-apprentissage ou remédiation fondamentale en lecture-compréhension. Confrontés à des supports classiques (annexe, encart 1) les professionnels échouent massivement, 30 à 70% (selon les régions) des 7 à 9000 grutiers en exercice sont faiblement lettrés. Toute possibilité d'adaptation aux caractéristiques des grutiers et d'amélioration des supports écrits est envisageable pendant la formation, mais exclue pour l'examen, pour lequel tableaux et courbes classiques sont maintenus (documents de référence dans la grue). Cette difficulté soulève le problème plus général des modalités ou formats des représentations externes des connaissances à apprendre (Samurçay et Hoc, 1996).

Notre but est la conception d'un outil d'assistance à la compréhension pouvant aider les grutiers faiblement lettrés à traiter et utiliser les tableaux et courbes de charges indiquant les limites du fonctionnement de la grue, afin d'optimiser leur maîtrise de la sécurité du système (233 accidents graves recensés cette dernière décennie, dont 83 décès). Dans une perspective d'ergonomie cognitive de l'apprentissage, de type didactique professionnelle (Pastré, 1997; Samurçay et Rogalski, 1998), cet outil aura pour fondement une liaison explicite entre la représentation fonctionnelle interne de l'équilibre des grues chez le professionnel et la représentation symbolique externe, c'est à dire la courbe (fonction) ou le tableau (à double entrée) de charge. Les possibilités de multimodalité offertes par les nouvelles technologies rendent possible la matérialisation physique de cette liaison. Contrairement aux nombreuses recherches dans domaine des écrits narratifs, seulement quelques travaux ont été consacrés aux difficultés de compréhension des documents techniques, de type texte d'instruction ou procédural (consignes, modes d'emplois); Dixon, 1982 ; Ganier, Gombert & Fayol, 2000. Mis à part les travaux de didactique des sciences, à l'école, rares sont les études sur le traitement cognitif des graphes et des tableaux (Wright, 1999). Aussi rares sont les recherches concernant les adultes peu lettrés (Vautier & Al, 1997; Boucheix & Al, 1997). Deux grandes catégories d'origine des

¹ Ce travail a fait l'objet d'un contrat de recherche co-financé par le GFC-BTP (Groupement Paritaire pour la Formation Continue des Entreprises du Bâtiment et des Travaux Publics) et le Conseil Régional de Bourgogne.

difficultés de compréhension sont recensées : la première concerne les modalités de présentation des documents (rédaction contenant beaucoup d'informations implicites, lisibilité faible, ambiguïtés, terminologie trop technique, peu adaptée aux utilisateurs); la seconde tient aux difficultés cognitives du lecteur (manque d'automatisation des processus de décodage de l'écrit, difficultés de compréhension, connaissances préalables insuffisantes) et aux buts spécifiques de l'utilisateur (recherche d'informations particulières en fonction des besoins en fonction des besoins en fonction de lecture systématique du document). Ces constats ont donné lieu à des actions correctives visant l'amélioration des écrits techniques. Cependant la plus grande partie de ces travaux ergonomiques est centrée sur la lisibilité des textes du point de vue de leur structure lexicale, syntaxique (simplification) et sur l'architecture textuelle (structure, plan, logique et sémantique des actions), (Barcenilla & Brangier, 2000). Dans certains travaux plus récents, l'effet favorable des illustrations, à certaines conditions, est soulignée, Ganier, Gombert & Fayol, 2000 ; Gyselinck & Tardieu, 1999; de même que le recours à des modalités de présentation non interférentes (audio-visuel), Mayer, 1999; ainsi que des animations (Bétranourt & Tverski, 2000). Néanmoins, si ces améliorations peuvent être notables pour des lecteurs « compétents », elle apparaissent insuffisantes pour des opérateurs plus faiblement lettrés, parce que l'activité de lecture y est cognitivement aussi exigeante que dans des textes techniques classiques. Surtout, il n'y a pas de relation explicite entre le contenu des documents et les représentations fonctionnelles des opérateurs, spécialement lorsqu'ils sont expérimentés. Ainsi, plus qu'une question de lisibilité se pose un problème de choix du format de la représentation externe proposée à l'opérateur apprenant.

Nous faisons l'hypothèse d'un effet favorable, sur la compréhension de documents, d'une aide exposant explicitement la liaison entre la représentation fonctionnelle interne de la situation de référence chez l'opérateur, ici le grutier, et la représentation symbolique écrite externe, courbes et tableaux de charges. Pour la matérialisation physique de cette liaison, les possibilités informationnelles (notamment en ce qui concerne les formats) offertes par les nouvelles technologies peuvent (à certaines conditions) s'avérer pertinentes : multimodalité, simulation interactive, conception de représentations analogiques fonctionnelles. Au plan théorique, les travaux actuels sur les représentations cognitives construites à partir de textes explicatifs avec des informations multimodales (images, diagrammes, animations), montrant l'importance de l'élaboration de modèles mentaux contextualisés ou modèles de situations (Van Ostendorp & Goldman, 1999), dans les activités de compréhension, apportent des fondements à l'hypothèse précédente.

2- MÉTHODES ET TECHNIQUES

La démarche suivie comporte trois étapes :

2.1- La première consiste à mettre en évidence la représentation fonctionnelle interne de l'équilibre des grues chez des professionnels expérimentés peu lettrés. Nous avons ainsi conduit une analyse cognitive du travail de 10 grutiers « experts » accompagné d'un diagnostic des connaissances disponibles. Des enregistrements (individuels) audio vidéo (centrés sur les regards du professionnel) en situation ont été réalisés (1h30 à 2h en moyenne par grutier) suivis d'entretiens individuels d'explicitation des films. Enfin, des tests de différents formats de présentation de l'équilibre des grues ont été réalisés pour chaque grutier.

2.2- Munis des résultats de cette étape nous avons ensuite construit un simulateur d'apprentissage de tableaux et courbes de charge combinant de façon intégrée deux formats de représentation à l'écran: analogique avec les effets de l'action et symbolique écrite (tableau et courbe de charge).

2.3- Enfin, nous avons évalué l'apprentissage avec ce simulateur aux cours de deux expérimentations, l'une menée auprès de 31 grutiers peu lettrés, l'autre conduite auprès de 39 grutiers lettrés et peu lettrés.

3- RÉSULTATS

Nous évoquerons tout d'abord, allusivement, les résultats de la première étape (pour plus de détails voir Boucheix et Chanteclair, 2000) pour nous centrer ensuite plus longuement sur les principes cognitifs ayant guidés la conception du simulateur. Enfin, nous évoquerons très rapidement uniquement les conclusions des deux expérimentations en centre de formations (ces expériences sont exposées en détails dans un article plus long, Boucheix, à paraître). Après quoi, nous discuterons très brièvement, du point de vue de l'ergonomie des apprentissages, la perspective développée ici.

3-1- Représentation fonctionnelle de l'équilibre chez le grutier

Les grutiers disposent d'une représentation procédurale du rapport poids-portée, organisée par les indices technique du système (klaxon, limites de vitesse, coupes circuits). Nous avons mis en évidence l'existence d'une connaissance intuitive, implicite, de la relation distance-masse fortement « encapsulée » dans l'action, et liée aux interactions quotidiennes avec la comportement de la grue. Nous avons montré une expression possible de cette connaissance pour un format de présentation analogique de la relation poids-portée (cette représentation est consignée en annexe, encart 2). Elle correspond à une forme de tableau qui s'insère dans la représentation figurative d'une grue. Verticalement, contre la tour de la grue, s'étagent quatre poids (8t ; 6t ; 3t ; 1,5t). Horizontalement, le long de la flèche de la grue, se trouvent des indications de distances en mètres. Dans la tâche proposée, l'opérateur devait compléter (à l'aides de réponses oui/non ou de signes + et -) les cases d'un tableau pour une grue telle que celle représentée dans les évaluations classiques. Les exercices sur ce support analogique ont été beaucoup mieux réussis que ceux correspondants au format classique, comme le montrent les résultats consignés, tableau 1.

Tableau 1

Charges limites choisies par les grutiers expérimentés pour 6 distances possibles (respectivement 15, 20, 25, 30, 35, 40 m) et les 4 niveaux de charge proposés (respectivement 8, 6, 3, 1,5 tonnes)

Distance Grutier (6 ^E)	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m
1	8	8	6	3	3	3
2	3	1,5	1,5	1,5	1,5	<1,5
3	3	2,5	2,5	2	1,5	1,5
4	8	6	3	<1,5	<1,5	<1,5
5	8	6	3	1,5	1,5	<1,5
6	6	3	3	1,5	1,5	1,5

On observe que les masses considérées comme possibles à lever, données par les six « experts », « décroissent » avec l'augmentation de la portée, témoignant ainsi d'une sensibilité certaine (connaissance intuitive) à la relation masse-distance.

3-2- Principes « cognitifs » de conception du simulateur

Sur le principe des supports testés précédemment nous avons conçu un simulateur multimédia (sur écran) avec un scénario d'apprentissage ². Nous avons choisi de simuler la fonction principale (rapport -non proportionnel- poids-distance et limites de fonctionnement) de la grue, (avec mouvements et interaction directe via la souris de l'ordinateur), de façon à relier deux formes de représentation de ce même fonctionnement, la forme analogique (mise en scène du comportement concret de la grue) et la forme symbolique écrite (courbe et tableau de charge). Quelques planches illustrant le type d'interface présenté sont consignées en annexe, encart 3). Le principe de la tâche pour le grutier est de chercher les limites en transportant physiquement (avec la souris) des charges le long de la flèche d'une grue présentée de profil. Au cours de la première partie de l'entraînement, l'outil permet une utilisation « facile », nécessitant le moins possible le recours à des informations écrites. Puis, au cours des séquences d'entraînement réalisées, aux exercices de transports de charges destinés à construire son propre tableau (ou courbe) sous la grue, se substituent très progressivement des exercices (entrecoupés d'animations didactiques) de recherche de limites sur des courbes puis sur des tableaux à plusieurs lignes. La présentation analogique des informations devrait faciliter l'orientation, la recherche et l'intégration des informations par les stagiaires, et finalement favoriser l'accès aux tableaux de charge classiques. Dans le cadre d'une « typologie » des propriétés didactiques des simulateurs telle que celle décrite par Samurçay et Rogalski, 1998, le présent logiciel correspond à une situation de découplage de fonction (poids-portée, centrée sur la notion de moment). Les tâches

² en collaboration avec le CNERTA : Le Centre National d'Etude des Technologies Avancées est un département de l'ENESAD (Ecole Nationale Supérieur D'enseignement Agronomique de Dijon).

proposées aux professionnels constituent une manipulation de la tâche réelle, ou situation de référence, qui tente de conserver (une partie) des indices de l'activité mobilisée lors du transport de charges au cours du travail réel, sans reproduire à l'identique l'action de conduire la grue. En effet, il s'agit, devant la grue présentée de profil, de transporter des charges « pour voir l'effet de cette action sur (et sous) la grue » et non pas pour amener une charge à un équipier du chantier. La conception du logiciel tente de pallier les difficultés de traitement de l'écrit :

- Du point de vue des formats de représentations utilisés (analogiques), le recours au texte écrit seul est rare. Les consignes d'exercice et les messages sont courts (une à deux phrases par consigne), en langage « opératif », et délivrés à l'oral (en français) et en même temps à l'écrit. Tous les messages peuvent être réécoutés plusieurs fois en cliquant sur un icône ayant la forme du visage d'un chef de chantier ; ils ont un caractère incitatif à « expérimenter les effets de ses actions ». Afin de rendre les explications plus claires, des animations graphiques sont utilisées.

- L'environnement de travail visuellement représenté (grue, cadrans, consignes à observer) correspond au contexte habituel du professionnel.

- La tâche, elle même reste écologique puisqu'il s'agit le plus souvent de transporter réellement des charges avec une grue qui réagit de la façon similaire à celle du chantier (mise à part les sensations physiques liés à la conduite et au mouvement de la machine).

- A la fin de chaque exercice un récapitulatif permet visualiser et d'entendre une synthèse des notions vues au cours de l'exercice.

Pour prendre un objet avec le crochet, il suffit d'amener, avec la souris de l'ordinateur, le curseur sur le crochet, puis de descendre (en tirant les câbles) le crochet en bougeant la souris vers le bas, de cliquer sur l'objet pour le prendre puis de déplacer l'objet (réellement) le long de la flèche toujours en bougeant la souris. Lorsque l'objet a été amené à l'endroit voulu par la consigne, il suffit de cliquer une deuxième fois pour le décrochage. L'écran de l'interface comporte quatre zones. Dans la zone centrale, de travail, la grue, représentée de profil, permet le transport d'objets (banches, cuves de béton, poutres) qui apparaissent à son pieds au départ. Sous la flèche de la grue sont reportées les distances en mètres. Quand on prend un objet, au fur et à mesure du déplacement de la charge sous la grue, avec la souris, dans la zone des indicateurs, les cadrans (identiques à ceux d'une cabine réelle) de poids (en tonnes et kilogrammes), portée (distance en mètres) et de moment (en pourcentage de la puissance de la grue) réagissent, conformément à une grue réelle et selon les paramètres habituels. Quand le moment dépasse les 80%, le klaxon de la grue retentit et les câbles (supérieurs) deviennent de plus en plus rouges pour montrer que l'on va atteindre les limites. Après 100%, on voit la grue tomber. Les mouvements de la grue sont donc reliés, « on line » à deux autres formes de représentation. La première est matérialisée par les indicateurs des cadrans (poids, distance et moment). La deuxième correspond à ce qui se passe sous la grue : un tableau, qui prendra différentes formes jusqu'à évoluer vers une courbe de charge et un tableau réel, récapitule, pendant chaque exercice, les informations trouvées lors du transport des charges. On trouve toujours, en abscisse de ce tableau, la distance entre le crochet et l'axe de la mâture. Au départ, ces graduations sont affichées sur la flèche de la grue, comme si celle-ci était graduée : cette représentation permet de relier la flèche de la grue à la première ligne d'abscisse d'un tableau de charge. Dans toutes les épreuves, quand on déplace le crochet, le nombre et la colonne correspondants à la position du crochet s'affiche en surbrillance. Enfin, dans la zone de consigne se trouve le texte qui indique précisément les objectifs et modalités de chaque exercice, étape par étape. Ces consignes sont lues en voix-off par l'ordinateur, et apparaissent en surbrillance pendant qu'elle sont lues, à tout moment il est possible de la réécouter en cliquant dessus. Quand le stagiaire fait une erreur, un feed-back correctif est proposé suivi d'une relecture automatique de la consigne. Le grutier est invité à observer l'effet de ses actions de différentes manières : d'une part les résultats de l'action s'affichent sous la flèche de la grue, sous une forme graphique qui va se transformer progressivement, au fil des exercices, en une courbe puis un tableau de charge (à trois lignes), d'autre part, simultanément, l'effet des actions est observable directement sur le comportement de la grue et les cadrans indicateurs identiques à ceux d'une grue réelle. Le logiciel est découpé en 13 séquences correspondant à 19 exercices (60 items au total). Dans une première partie, en transportant des objets du chantier, les grutiers construisent la courbe de charge de la grue, sous celle-ci, puis apprennent à utiliser la courbe et le tableau correspondant. Dans une deuxième partie, ils construisent une deuxième courbe de charge pour un autre modèle de grue, qui ajoutée à la première courbe va se transformer en un tableau de charge à plusieurs lignes, très proche

d'une abaque réelle. Enfin, la troisième partie est composée d'exercices visant l'entraînement à l'utilisation des tableaux de charge pour déterminer de limites de grues en réponse à des questions identiques à celles de l'examen. Bref, entre le simulateur plein échelle et le micro monde, cet outil constitue une cas (particulier pour les apprentissages) d'environnement (interface) écologique, centrée sur le problème de l'équilibre de la grue, une des caractéristiques clés est l'accès à plusieurs représentations, caractérisées par une « hiérarchie d'abstraction » d'un même processus, Terrier, Cellier, Carreras, 2001.

3-3- Expérimentation de la validité du simulateur

Notre but, ici, était de présenter les principes de conception d'un simulateur d'apprentissage. Nous ne ferons donc qu'une brève allusion aux objectifs de deux expérimentations. Leurs résultats sont exposés en détail par ailleurs (cf Boucheix, à paraître)

3-3-1-Expérience 1

Il s'agissait de vérifier l'effet du simulateur sur la compréhension des courbes et tableaux de charge par des grutiers faiblement lettrés, dans une situation réelle d'apprentissage préparant l'examen passé à la fin de la formation. Nous avons opté pour la procédure expérimentale générale suivante, à la quelle ont participé, individuellement, 31 grutiers faiblement lettrés.

- 1- Pré-test: Lecture et utilisation de courbes et de tableaux de charges classiques (identiques à ceux de l'examen et à ceux qui se trouvent dans les grues (annexe, encart 1): épreuve de huit items.
 2- Travail de passation du simulateur d'apprentissage
 3- Post-test : exercices composée de huit items similaires au prétest (mais différents).

Deux paramètres principaux ont été contrôlés

Le degré « d'illettrisme » de chaque professionnel (grâce à un outil simple de dépistage);

Parmi les 31 grutiers, deux groupes ont été constitués: l'un expérimental, l'autre contrôle.

Nous avons pu mettre en évidence, pour le groupe expérimental exclusivement, un effet très significatif du travail avec la simulateur sur le traitement et la compréhension des courbes et tableaux de charge par le grutiers faiblement lettrés (cf Boucheix, à paraître).

3-3-2- Expérience 2 : simulateur et formation classique

Nous avons voulu ensuite, savoir ce qu'apportait un tel outil relativement à la formation traditionnelle, en général plus longue et plus complète. Notamment, quelle pouvait être la place occupée par un simulateur d'apprentissage au cours de la formation ? Cette question a motivé le but de l'expérience 2. Pour y répondre, nous avons élaboré la procédure suivante, en passation individuelle, pour 22 grutiers lettrés et 17 peu ou illettrés.

- 1- Un prétest : lecture d'une série de 8 courbes et tableaux de charges classiques (à 2, 3 puis plus lignes) sur papier, puis,
- 2- La passation des exercices du simulateur d'apprentissage, et ensuite,
- 3- deux post-tests (similaires mais différents du prétest et entre eux): 8 tableaux et 8 courbes de charge à lire)

La succession de ces épreuves dans le temps se déroule, soit avant le début de la formation, (groupe S+F) soit après la fin de formation (groupe F+S) selon le programme suivant:

Groupe S+F: Prétest	simulateur	post-test 1	<i>formation</i>	post-test 2.
<i>Groupe F+S:</i> Prétest	<i>formation</i>	post-test 1	simulateur	post-test 2.

Les résultats ont montré que, chez les grutiers peu lettrés, le simulateur avait un effet significatif important lorsqu'il était réalisé au début du stage. La formation n'apportait pas de complément. Lorsque les stagiaires commençaient par la formation, l'apport de celle-ci était encore fortement renforcée par le travail avec le simulateur. Enfin il est apparu que les bénéfices liés au simulateur étaient significativement plus élevés que ceux liés à la formation, chez les grutiers peu ou illettrés.

4- DISCUSSION CONCLUSION

Validité du simulateur, aides à la compréhension et « didactique professionnelle »

Lorsqu'il existe une liaison explicite et matérielle entre la représentation interne des opérateurs et la représentation écrite externe à apprendre, le traitement des informations par des professionnels peu lettrés pourrait s'en trouver facilité. Ce type d'aide à la compréhension pourrait s'avérer même aussi (voir plus) efficace que des explications longues au cours d'une formation. La raison tient à l'augmentation de la compatibilité entre la structure des représentations des opérateurs et la représentation externe proposée. La démarche, très brièvement esquissée ici, s'apparente à une forme d'ergonomie cognitive des apprentissages (didactique professionnelle, Pastré, 1997, Rogalski & Samurçay, 1998), consistant à mettre en évidence les représentations fonctionnelles, à les manipuler pour les « mettre en scène » dans des situations d'apprentissage calculées. Alors, à un meilleur niveau du traitement de l'information de cette représentation externe, ici des limites de charge, semble s'associer une représentation conceptuelle (modèle mental) plus élaborée puisque les opérateurs peuvent manipuler plus aisément la notion de courbe de charge. Que peuvent apprendre les grutiers dans cette situation simulée ? Certainement pas à remédier à leurs difficultés générales en lecture, il faudrait pour cela beaucoup plus de temps, et d'autres niveaux d'investigation. En revanche, ils peuvent apprendre à lire, comprendre et manipuler plus aisément une classe de documents techniques des tableaux et des graphes de limites de charge, représentation symbolique du fonctionnement de la grue; mais également enrichir la structure conceptuelle de la notion de moment. Les acquisitions, ne peuvent se réduire à un effet d'entraînement, compte tenu de la variété des épreuves de transferts proposés aux post-tests. Il serait d'ailleurs intéressant de savoir si ces progrès, limités dans nos post-tests au tableaux de charges, sont généralisables à d'autres tableaux à double entrée ou à d'autres graphes de type fonction nécessitant de coordonner abscisse et ordonnée. Compte tenu de l'objectif d'apprentissage concerné ici, c'est à dire améliorer le niveau de traitement des graphes techniques en vue de réussir l'examen professionnel, nous n'avons pas évalué dans quelle mesure les progrès constatés sont à même de modifier, ensuite, au cours du travail réel, la gestion par les professionnels de situations de transports limites. Pour cela, une autre investigation serait nécessaire: une analyse du travail des grutiers formés, beaucoup plus tard, après la formation, sur divers chantiers.

Illettrisme et traitements d'écrits techniques

Ce sont les grutiers faiblement lettrés qui ont le plus bénéficié du simulateur, construit à dessein. Il est apparu que ces professionnels peu lettrés ont compris les exercices proposés et les concepts sous-jacents. On peut cependant suggérer que l'apprentissage sur simulateur proposée ici aux opérateurs peu lettrés devrait être prolongée par une formation visant un (ré)-apprentissage plus fondamental en lecture-écriture, qui assurerait à nombre de professionnels expérimentés un développement plus général de leurs compétences, Boucheix, Lété, Zagar & Jourdain, 1997.

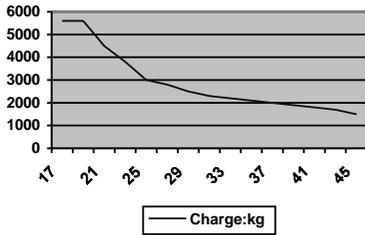
Nouvelles technologies et aides à la compréhension

Les résultats de ce travail auprès de professionnels faiblement lettrés attestent de l'intérêt des nouvelles technologies, à certaines conditions, qui tiennent compte des contraintes cognitives des apprenants (Mayer, 1999). D'une part, elles facilitent et rendent possible de la conception de formats spécifiques de représentations externes, et interactifs (le professionnels agit); d'autre part, la multimodalité (oral, sons, images, animations) peut alléger la charge cognitive liée au traitement de l'écrit pendant la compréhension, et favoriser la construction de représentations cognitive dynamiques, (Bétrancourt & Tverski, 2000), enfin elles peuvent prendre une orientation palliative à certaines formes de handicaps (. (Spérandio, Uzan & Oltra, 1999; Uzan, Michel & Boutaud, 1999). Néanmoins, leur intérêt et leur efficacité dans les apprentissages, dépend moins de la nouveauté ou de la sophistication technique des outils que des analyses et des théories de l'activité qui ont orienté leurs conceptions. Les choix de formats de représentation de la réalité, des informations, et l'activité proposée, sont conditionnés par le travail préalable de transposition didactique de la situation de travail, et des objectifs de l'opérateur.

Références bibliographiques

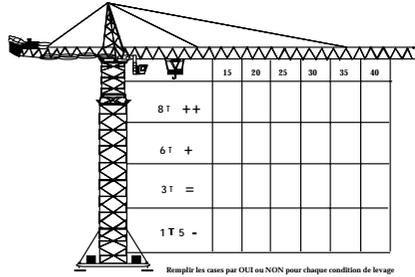
- Barcenilla, J., & Brangier, E. (2000) Propositions pour une intervention en ergonomie des aides textuelles au travail. *In Illettrisme et monde du travail, Paris, La documentation Française, pp357-375.*
- Bétrancourt, M. & Tverski, B. (2000) The effect of computer animations on user's performance, *Le Travail Humain*, 63, 4, 311-329.
- Boucheix, J.M., Lété, B., Zagar, D. & Jourdain, C. (1997) Un exemple de construction d'un dispositif de formation pour adultes faiblement lettrés: De l'évaluation-diagnostique aux curricula de formation. *In, B. Lété & C. Barré De Miniac, (Eds). L'illettrisme. Bruxelles, De Boeck.*
- Boucheix, J.M. & Chanteclair, A. (2000). Quand la certification pourrait ne pas voir la compétence. *Formation et Emploi*, 69, CEREQ 37-52.
- Dixon, P. (1982) Plans and written directions for complex tasks. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 21, 70-84.
- Fayol, M. (1992) Comprendre ce qu'on lit : De l'automatisme au contrôle. In M.Fayol, J.E. Gombert, P. Lecocq, L. Sprenger-Charolles, & D. Zagar (Eds), *Psychologie cognitive de la lecture*
- Ganier, F. ;Gombert, J.E.; Fayol, M. (2000). Effet du format de présentation des instructions sur l'apprentissage des procédures à l'aide de documents techniques. *LeTravail Humain*, 63,2, 121-152
- Gyselink, V., & Tardieu, H (1999). The role of illustration in text comprehension: what, when, for whom and why? In S.R. Goldman, & H. van Oostendorp (Eds), *The construction of mental representation during reading.*
- Mayer, R.E. (2000) Instructional technology. In F. Durso (Ed) : *Handbook of applied cognition* John Wiley & Sons.
- Pastré, P. (1997). « Didactique professionnelle et développement », *Psychologie Française*, n°42, p. 89-10.
- Samurçay, R. & Hoc, J.M. (1996) Causal versus topographical support for diagnosis in a dynamic situation. *Le Travail Humain*, 59, 1, 45-68.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1998) « Exploitation didactique des situations de simulation », *LeTravail Humain*, n 61, p. 333-359.
- Spérandio, J.C., Uzan, G., & Oltra, R. (1999) L'informatique comme barrière d'exclusion ou comme aide technique à l'intégration, *Performances Humaines et Techniques*. « Situations de handicap », pp 34-40.
- Terrier, P., Cellier, J.-M., & Carreras, O. (2001) Un cadre théorique pour la conception d'interfaces : les interfaces écologiques, *Psychologie Française*, 46, 2, 153-165
- Uzan, G., Michel, G., & Boutaud, P. (1999) De l'interface de surface à l'assistance dans la communication: une messagerie électronique pour aveugles. *Ergonomie et Télécommunications*, pp 37-46.
- Van Oostendorp, H., & Goldman, S.R., (1999) *The construction of mental representations during reading*. New-Jersey: LEA.
- Vautier, S., Hernandez, A. & Guillevic, C., (1997) Difficultés d'adultes de niveaux V et VI à exploiter des messages explicatifs informatisés, *Le Travail Humain* , 60, 2, 185-203.
- Wright, P. (1999a). The comprehension of written instructions: Examples from health materials. *In D. Wagner (Ed), Literacy: An international Handbook* (pp 192-198). Boulder, CO: Westview Press

Annexe



Encart 1

Courbe de charge simplifiée
(flèche de 45m)

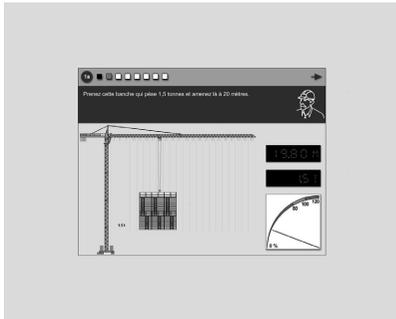


Encart 2

Interface utilisé lors de l'analyse du travail

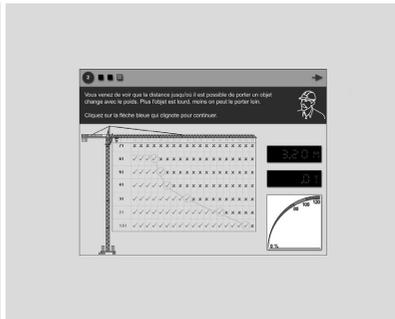
Encart 3

Quelques illustrations de l'interface et des exercices du simulateur



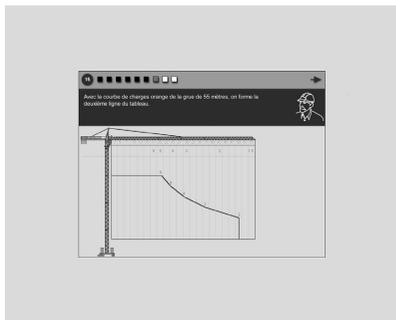
1

Construction du tableau de limites par transports réels d'objets de chantier (ici une banche).



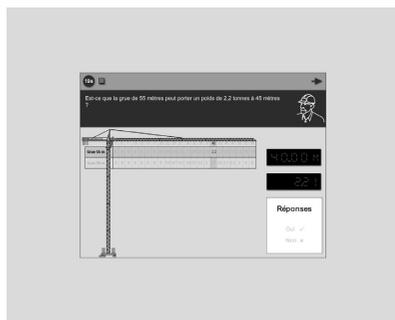
2

Construction de la courbe de charge à partir des résultats des transports d'objets.



3

Animation graphique transposant deux courbes en un tableau à deux types de flèches



4

Recherche-lecture de limites de transport sur un tableau distance-poids, pour deux flèches

Ateliers jeunes chercheurs

La Relation de Confiance entre le Conducteur et un Système Automatique de Régulation de Vitesse : un Cadre Opérationnel d'Analyse

Bako Rajaonah

LAMIH –PERCOTEC, Université de Valenciennes
Le Mont Houy - 59313 Valenciennes Cedex 9
bakorajaonah@wanadoo.fr

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif d'élaborer un cadre d'analyse de la confiance du conducteur dans sa relation avec un système automatique de régulation de vitesse, l'ACC - Adaptive Cruise Control. Nous avons utilisé l'architecture cognitive de la coopération de Hoc (2001) pour analyser les données construites par Renault et le LPC-INRETS. Ces données, constituées de protocole verbaux de conducteurs réalisant un trajet autoroutier à bord d'un véhicule équipé de l'ACC et instrumenté pour permettre l'enregistrement de la scène avant, ont été codées avec le logiciel MacShapa (Sanderson *et al.*, 1994). Nous avons posé l'hypothèse que l'utilisation du contrôle automatique par l'opérateur humain dépendait de la confiance qu'il avait dans la relation homme-machine et que cette confiance reposait sur un modèle de la relation homme-machine. Nous avons pu mettre en évidence que ce modèle existait en parallèle avec les modèles du conducteur et du régulateur, et que ces modèles permettent au conducteur de se familiariser avec l'ACC et de mieux anticiper ses comportements.

MOTS-CLÉS

Coopération, Conduite automobile, ACC, Confiance, Modèle de la relation homme-machine.

1 INTRODUCTION

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la participation de l'équipe PERCOTEC-LAMIH au GDR « Coopération homme/machine pour les aides à la conduite », en collaboration avec le LPC-INRETS. Notre objectif est d'analyser la relation de confiance qui s'établit entre le conducteur et un système automatique de régulation de vitesse, l'ACC (*Adaptive Cruise Control*). Plus précisément, nous essayons d'élaborer un cadre d'analyse permettant d'étudier cette relation.

En effet, si la technologie que nous impose le progrès dans notre environnement est censée améliorer notre confort quotidien et notre sécurité, elle pose le problème de son utilisabilité en général et plus spécifiquement de son acceptabilité par l'usager. Ainsi, parmi les nombreux systèmes d'assistance aux conducteurs proposés par les constructeurs, figure l'ACC. Il s'agit d'un système de régulation intelligente de la vitesse du véhicule mis au point par Renault dans le cadre du programme de recherche PROMETHEUS. L'ACC gère la vitesse ainsi que la distance inter véhiculaire en prenant en charge les actions d'accélération, de décélération et de rétrogradage, en tenant compte d'une vitesse et d'une interdistance préalablement sélectionnées par le conducteur. Ce dernier peut reprendre le contrôle en manuel à tout moment, en freinant ou en accélérant.

Nous nous intéressons particulièrement à la répartition du contrôle, automatique ou manuel, effectuée par le conducteur. Quelles sont les conditions contextuelles dans lesquelles le conducteur reprend en manuel ? Dans quelle mesure le contrôle automatique interfère-t-il avec sa conduite ? Nous analysons à cette fin des données construites par Renault et le LPC-INRETS, en nous aidant de l'architecture cognitive de la coopération de Hoc (2001).

2 CADRE THEORIQUE : LA RELATION DE CONFIANCE DANS LA COOPERATION HOMME- MACHINE

La conduite automobile, comme toutes les situations de transport, est une situation dans laquelle l'opérateur surveille et guide l'évolution d'un processus dynamique, c'est-à-dire évoluant de lui-même avec ou sans l'action de l'opérateur (Amalberti, 1996), dans un environnement dynamique qui

se transforme même lorsque l'opérateur n'agit pas sur lui (Hoc, 1996), ce qui le rend difficile à contrôler. C'est une tâche complexe car elle nécessite que le conducteur s'ajuste continuellement aux contraintes de l'infrastructure et du trafic, tout en maîtrisant son véhicule. Il doit à tout moment explorer son environnement, identifier la situation, la catégoriser, prédire et anticiper les actions ou événements futurs, prendre des décisions correctrices et les exécuter (Neboit, 1977).

A chaque niveau de traitement, le conducteur fait appel à ses connaissances et ses croyances, ses savoir-faire ou à ses automatismes, comme le décrit l'architecture GSD, Gestion des Situations Dynamiques, (Hoc & Amalberti, 1995) qui met en évidence les différents niveaux de contrôle dans l'activité de l'opérateur : une boucle de contrôle rapproché du processus permettant la maîtrise à court terme de la situation, une boucle de régulation à moyen terme s'appuyant sur la représentation occurrente, une boucle de régulation à long terme nécessitant le recours à des connaissances plus générales (Hoc & Amalberti, 1994).

L'exercice du contrôle est défini par Logan (1988) comme une allocation de ressources attentionnelles. Un des critères de régulation du contrôle serait la confiance, qu'il s'agisse de la confiance en soi ou de la confiance dans le système (Amalberti, 1996).

2.1. La confiance dans le système et la confiance en soi.

La confiance dans la machine a fait l'objet de nombreux travaux. Ainsi, Muir (1994) suggère que la confiance dans le système (*trust*) ressentie par l'opérateur est une variable intervenant dans la répartition du contrôle, automatique ou manuel. Cet auteur généralise à la relation homme-machine les théories sur la confiance interpersonnelle de Barber (1983), Rempel, Holmes et Zanna (1985). La combinaison de ces différentes théories, ainsi que celle de Zuboff (1988) sur la confiance dans les nouvelles technologies fournit une base théorique pertinente pour étudier l'évolution de la confiance dans le système : (a) la familiarisation avec le système se baserait sur l'extraction de régularités dans ses performances appréhendées à travers l'expérience par essais et erreurs ; (b) la compréhension du système serait sous-tendue par l'appréhension de ses caractéristiques stables – se traduisant par l'établissement de règles de fonctionnement - permettant d'anticiper son comportement ; (c) la confiance proprement dite reposerait sur l'accès aux intentions de la machine, en l'occurrence les intentions dont l'ont dotée ses concepteurs. C'est la confiance ou *trust* qui permettrait à l'opérateur de pouvoir se reposer sur la machine parce qu'il croit en ses capacités à produire ce qu'il attend d'elle.

Selon Lee et Moray (1992, 1994), une autre variable interviendrait dans l'utilisation du contrôle automatique : la confiance en soi. Plus précisément, c'est le ratio entre la confiance en soi (*self-confidence*) et la confiance dans le système qui déterminerait la répartition du contrôle. Ils définissent la confiance en soi comme la performance anticipée en cas de contrôle manuel et soulignent que l'utilisation du contrôle automatique refléterait davantage une perte de confiance en ses capacités de contrôle qu'en une augmentation de la confiance dans le système.

Selon Amalberti (1996), la confiance en soi évoluerait en trois phases : (a) la phase initiale pendant laquelle l'opérateur acquiert les connaissances nécessaires à la réalisation de sa tâche. Étant donné qu'il n'a pas de retour sur ce qu'il fait, il n'est pas sûr de lui ; (b) la phase d'exploration ou phase d'acquisition de la confiance pendant laquelle l'opérateur, tout en acquérant de nouvelles connaissances, transforme ses connaissances en savoir-faire, ce qui s'accompagne d'un premier niveau de confiance ; (c) la phase de préférence pendant laquelle l'opérateur encapsule les savoir-faire acquis précédemment pour les automatiser, optimisant ainsi ses performances.

2.2. Coopération cognitive et confiance : modèle de soi, modèle de l'autre

L'architecture cognitive de la coopération de Hoc (2001) nous paraît pertinente pour analyser l'évolution de la confiance du conducteur dans sa relation avec le régulateur.

Hoc (2001) considère que deux agents d'un système sont en situation de coopération aux deux conditions minimales suivantes : (a) ils poursuivent chacun des buts et chaque agent peut interférer avec l'autre agent au niveau des buts, des résultats ou des procédés ; (b) ils font en sorte de gérer ces interférences afin que chaque agent puisse faciliter sa propre tâche, celle de l'autre et/ou une tâche commune quand elle existe. Il n'y a pas forcément une relation symétrique entre les agents.

Selon Castelfranchi (1998), l'interférence est positive (négative) lorsqu'elle favorise (menace) la réalisation du but de l'un des agents. La gestion de l'interférence consiste en une action d'adaptation à autrui (par modification de son propre plan) ou en une action d'influence d'autrui (par persuasion d'autrui d'abandonner ou de poursuivre un but).

Si l'on se réfère à Hoc (2001), la création, la détection et la résolution des interférences constituent le premier niveau d'abstraction des activités coopératives à savoir la coopération dans l'action. A ce niveau, l'agent qui, dans l'action, crée, détecte ou résout l'interférence, commence à construire un modèle des performances de son partenaire, ainsi que de lui-même. On peut situer ici la première étape de la confiance en soi : l'acquisition de connaissances nécessaires à la réalisation de la tâche. On situera également la première étape de la confiance dans le système : l'expérience par essais et erreurs permettant de se familiariser avec son partenaire.

L'identification de but, une autre activité de coopération dans l'action, alimente également les modèles précédents en les améliorant, car elle permet à l'opérateur d'utiliser des stratégies anticipatives à partir des régularités observées au niveau de la détection et de la résolution des interférences. On peut situer ici la deuxième étape de la confiance : l'acquisition de savoir-faire pour la confiance en soi, l'élaboration de règles de fonctionnement du partenaire pour la confiance dans le système. Il faut souligner que, selon Hoc (2001), l'interférence porte davantage sur des sous-but et qu'il s'agit plutôt d'hypothèses de sous-but dont le degré de vraisemblance ne permet pas d'élaborer un modèle sophistiqué du partenaire : l'agent n'est pas au stade de la croyance, il est encore au stade de test des capacités de la machine.

Le deuxième niveau d'abstraction, celui de la coopération dans la planification, est constitué par les activités participant à l'élaboration et au maintien d'un référentiel commun. On y inclut également la répartition des rôles, cette dernière correspondant à l'idée de délégation cognitive de Castelfranchi (1998). A ce niveau, l'agent est capable d'accéder aux intentions de son partenaire (*mind-reading*). L'opérateur continue à alimenter les deux modèles, l'un le concernant, l'autre concernant son partenaire, par les buts et les plans de chacun. On peut situer ici la dernière étape de la confiance dans le système : la croyance que la machine peut réaliser ce qu'on attend d'elle.

Le dernier niveau d'abstraction des activités coopératives est la métacoopération. Elle permet de fournir un cadre générique utile aux activités des niveaux précédents. Il s'agit de l'élaboration d'un code de communication commun et de représentations compatibles, ainsi que de l'élaboration des modèles de soi et du partenaire.

2.3. Confiance dans le système, confiance en soi ou confiance dans la relation homme-machine ?

Les modèles de soi et du partenaire élaborés au cours de la progression de la confiance semblent donc recouper ceux élaborés au cours des activités individuelles et coopératives.

On peut alors faire l'hypothèse qu'une interaction prolongée entre l'homme et la machine conduirait à l'élaboration d'un modèle mental de la relation de coopération qui s'établit entre les deux agents. En effet, il n'est pas illogique de penser que le modèle de soi est un modèle que l'opérateur a de son fonctionnement en interaction avec la machine, et que ce modèle inclut également un modèle du fonctionnement de la machine. En définitive, les modèles que l'agent humain élabore dans sa relation avec la machine aboutissent peut-être à un modèle unique, celui de la relation homme-machine. Et dans ce cas, ne pourrait-on pas également parler de la confiance dans la relation homme-machine comme étant un concept à part entière ? Et ne pourrait-on pas poser l'hypothèse que la confiance dans la relation homme-machine sous-tend le choix de l'opérateur en ce qui concerne le choix du contrôle, automatique ou manuel ?

3 METHODE

Notre travail est intégré dans un programme de recherche mené au LPC-INRETS en collaboration avec le service ergonomique de Renault. La méthode d'investigation a consisté en une observation embarquée des comportements de conducteurs lors de la réalisation d'un trajet autoroutier, associée à un recueil simultané et consécutif de leurs verbalisations. Neuf conducteurs expérimentés (permis de plus de 5 ans et plus de 20 000 km par an) ont participé à la recherche. Après une phase de familiarisation avec la conduite avec le régulateur ACC, les sujets ont effectué un parcours de 320 km dont 90 km sans ACC et 230 km avec le système activé (Saad & Villame, 1999).

L'analyse réalisée a pour objectif d'élaborer dans un premier temps une méthode permettant d'opérationnaliser la confiance du conducteur dans sa relation avec le régulateur. Nous avons pour cela utilisé l'enregistrement vidéo des 2 heures de conduite d'un conducteur avec le régulateur, ainsi que les retranscriptions des verbalisations simultanées correspondantes.

Le protocole verbal a été découpé en unités correspondant chacune à une activité élémentaire individuelle et/ou coopérative. Chaque unité a été contextualisée, c'est-à-dire mise en parallèle avec

l'infrastructure et le trafic correspondant, à l'aide de l'enregistrement vidéo de la scène avant. Ensuite, nous avons codé ces unités avec le logiciel MacShapa (Sanderson *et al.*, 1994) suivant un formalisme en prédicat et arguments (Hoc, 1998 ; Hoc & Amalberti, 1999). Nous avons retenu comme activités individuelles élémentaires : la prise d'information, l'identification de la situation et la prise de décision et, comme activités coopératives : la détection et la résolution d'interférence, l'identification de but, l'attribution de rôle et l'élaboration d'un modèle du partenaire.

Tableau 1 : Exemple de codage.

Le décryptage décrit la situation suivante : le conducteur est sur la file de droite et il aperçoit un poids lourd. Il détecte par anticipation que ce poids lourd va le gêner et décide de déboîter sur le file du milieu, sans utiliser le contrôle manuel (sans accélération ni freinage) : l'exécution de cette action va résoudre l'interférence, cette résolution étant réalisée pour satisfaire le conducteur (ego).

Infrastructure	Trafic	Conducteur	Verbalisations	Activités individuelles	Activités coopératives
3 voies, Courbe, Pente	Poids lourd, voie de droite, loin	Voie de droite	<i>Là il y a deux camions</i>	PI (environnement, trafic, PL loin, VD)	DT-ITF (trafic, PL conducteur, anticipée)
3 voies, Courbe, Pente		Déboîtant sur la voie du milieu	<i>Donc je vais me déboîter</i>	ACT (véhicule, déboîtement, automatique) VM,	RS-ITF (automatique, déboîtement VM, conducteur, ego)

L'hypothèse principale est que le conducteur construit progressivement un modèle mental de sa relation avec l'ACC.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

Dans un premier temps, nous avons cherché à analyser les régularités que le conducteur extrayait au cours de la coopération dans l'action.

- Plus de la moitié des interférences détectées par le conducteur a pour origine les autres usagers de la route (56% contre 33% dues au régulateur et 11% dues au conducteur lui-même). 53% de ces interférences sont résolues par le conducteur et 31% le sont par le régulateur. La résolution des interférences par le régulateur induit souvent une gêne (interférence négative) au conducteur, et induit quelque fois une gêne aux autres usagers de la route.
- 64% des 266 interférences détectées par le conducteur sont des interférences anticipées, c'est-à-dire qu'elles restent potentielles tant que le conducteur peut encore maintenir son objectif global de maintenir sa vitesse de croisière (la vitesse de consigne donnée au régulateur) en effectuant une action de résolution de l'interférence (par exemple un dépassement). La plupart de ces interférences anticipées ont pour origine les autres usagers de la route (81%). L'objectif local du conducteur lors de la résolution de l'interférence est alors principalement d'éviter de ralentir pour maintenir sa vitesse de croisière. 36% des 266 des interférences détectées par le conducteur sont effectives, 73% d'entre elles ont pour origine le régulateur. L'objectif local du conducteur, lors de la résolution de ce type d'interférence devient alors essentiellement de rattraper sa vitesse de croisière.

Nous constatons que l'étude la confiance dans la conduite assistée ne peut se faire en isolant le conducteur et le système d'assistance : les autres usagers de la route doivent être pris en compte. Il faut envisager la relation de coopération comme incluant 3 types d'agents : l'agent humain conducteur, l'agent humain usager et l'agent machine assistance.

Dans un deuxième temps, nous avons cherché à savoir si les régularités extraites par le conducteur le conduisaient à mieux anticiper les comportements du régulateur. Nous avons observé que les anticipations concernant les comportements du régulateur augmentent considérablement de la première à la deuxième heure. Par ailleurs, l'activité d'identification est concentrée entre la 38^{ème} et la 69^{ème} minute (**Exemple** : « *Là il me régule* » ou « (...) *il a dû prendre le camion là (...)* »).

Nous pouvons déduire de ces résultats que la familiarisation avec le régulateur par l'intermédiaire des activités de détection et de résolution d'interférences a permis au conducteur d'identifier les buts du régulateurs. C'est cette compréhension des règles de fonctionnement qui permet au conducteur d'anticiper les comportements du régulateur.

Nous nous sommes posée la question d'analyser les bénéfices pour le conducteur de cette augmentation de l'anticipation des comportements du régulateur. En considérant que l'objectif global

est de maintenir la vitesse de croisière, un accroissement des anticipations concernant le régulateur devrait conduire à une moindre régulation par celui-ci, le conducteur choisissant d'éviter cette action de régulation qui conduirait le plus souvent à une décélération automatique du véhicule. Pour répondre à cette hypothèse, nous avons analysé la répartition des résolutions des interférences par le régulateur sur les deux heures de conduite.

Nous avons observé que les quantités de résolution d'interférence effectuées par le régulateur diffèrent peu de la première à la deuxième heure respectivement 52% et 48%). Deux interprétations sont possibles : (1) il y a un effet de la confiance – il reste à déterminer la nature de cette confiance – sur le choix du conducteur concernant le contrôle (régulation automatique ou reprise en manuel) ; (2) l'anticipation est erronée ou insuffisante. Cette dernière interprétation trouve sa source dans les deux aspects de l'anticipation définis par Denecker (1999) ainsi que Hoc (2000) : d'une part la prévision, une activité de niveau symbolique conduisant à l'élaboration d'une représentation du futur ; d'autre part, l'attente ou préparation attentionnelle, une activité implicite favorisant le prélèvement d'informations pertinentes. Nous pouvons avancer qu'en deux heures de conduite assistée, le conducteur n'a pas routinisé son activité de coopération avec le régulateur, ce qui ne le conduit pas encore à relever de façon automatique les informations pertinentes qui lui permettraient d'empêcher le régulateur d'induire une décélération du véhicule.

Enfin, nous avons analysé dans les verbalisations ce qui pouvait relever du modèle du partenaire. Nous avons repris la définition de Bainbridge (1992) selon laquelle un modèle mental est constitué des éléments suivants, selon l'objet du modèle : des connaissances relatives aux caractéristiques permanentes ou potentielles du processus pour le modèle du processus, des métaconnaissances pour le modèle de l'opérateur. Nous avons distingué :

- (a) Les verbalisations relatives au modèle du régulateur. Exemple : « (...) vous avez vu ça a pris relativement loin hein ».
- (b) Les verbalisations relatives au modèle du conducteur. Exemple : « Là en théorie je me rabattrais(...) ».

Nous avons rajouté un autre objet dont le conducteur essaie de construire une représentation stable, et qui pour l'instant n'est qu'une hypothèse : la relation conducteur-régulateur.

- (c) Les verbalisations relatives au modèle de la relation conducteur – régulateur. Exemple : « (...) mais je vais sûrement me... décaler (...) il faut s'habituer (...) ».

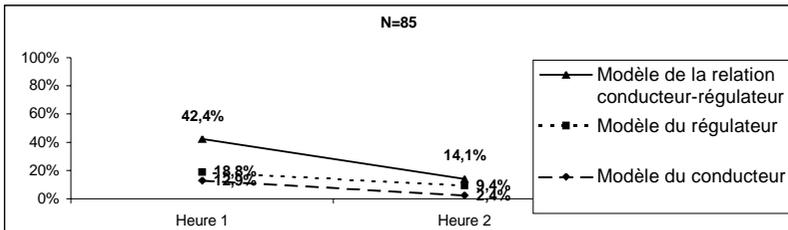


Figure 3. Évolution dans le temps des verbalisations relatives aux trois modèles.

Nous observons que les verbalisations relatives aux trois modèles sont beaucoup plus nombreuses à la première heure (74,1%) qu'à la deuxième (25,9%). Nous observons plus particulièrement que les verbalisations relatives au modèle de la relation conducteur-régulateur sont fortement présentes dès la première heure (42,4% du total des verbalisations relatives aux trois modèles et sur les deux heures de conduite).

Il ne semble donc pas que le modèle de la relation conducteur-régulateur soit un aboutissement des modèles du régulateur et du conducteur : il se construit dès le début des interactions entre le conducteur et le régulateur, ce qui va à l'encontre de notre hypothèse selon laquelle le modèle de la relation conducteur-régulateur résulte d'une convergence des deux autres modèles construits par le conducteur (conducteur et régulateur).

L'affaiblissement des verbalisations relatives aux trois modèles durant la deuxième heure ne nous permet pas d'affirmer que ces modèles ne sont plus nécessaires au conducteur. Tout au plus pouvons nous avancer l'hypothèse d'une certaine routinisation de l'activité de conduite avec ACC, et que les

connaissances du conducteur sont encapsulées progressivement dans les routines de conduite, au sens donné par Boshuizen et Schmidt (1992). Et la plupart des auteurs (par exemple Perruchet, 1988) s'accordant à dire que les processus automatiques qui constituent l'activité routinière ne sont pas accessibles à la conscience et de ce fait non verbalisables.

5 CONCLUSION

Ce travail a permis de montrer que l'architecture cognitive de la coopération de Hoc (2001) permet d'analyser de façon formelle la relation entre le conducteur automobile et un système d'assistance à la conduite. Cependant, si nous avons pu mettre en évidence que le modèle de la relation homme-machine existe en parallèle avec les modèles du conducteur et du régulateur ACC, nous ne pouvons affirmer que ce modèle est le reflet de la confiance dans la relation homme-machine, et encore moins que c'est cette confiance homme-machine qui sous-tend le choix de l'opérateur en ce qui concerne le choix du contrôle, automatique ou manuel. Ces deux hypothèses feront l'objet de nos prochaines recherches.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R., & Hoc, J.-M. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39, 177-192.
- Bainbridge, L. (1992). Mental models in cognitive skill : the example of industrial process operation. In Y. Rogers, A. Rutherford, I P.A. Bibby (Eds.), *Models in the mind*, (pp. 119-143). London : Academic Press.
- Barber, B. (1983). *Logic and the limits of trust*. New Brunswick, NJ : Rutgers University Press.
- Boshuizen, P.A., & Schmidt, H.G. (1992). On the role of biomedical knowledge in clinical reasoning by experts, immediates and novices. *Cognitive Science*, 16, 153-184.
- Castelfranchi, C. (1998). Modelling social action for AI agents. *Artificial Intelligence*, 103, 157-182.
- Denecker, P. (1999). Les composantes symboliques et subsymboliques dans la gestion des situations dynamiques. *Le Travail Humain*, 62, 363-385.
- Hoc, J.-M. (sous presse). Planning in dynamic situations : some finding in complex supervisory control. In R. Jorna (Ed.), *Planning and intelligence*. New York : Wiley.
- Hoc, J.-M. (1996). *Supervision et contrôle de processus – La cognition en situation dynamique*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hoc, J.-M. (1998). *Note sur le schème de codage des protocoles en situation dynamique intégrant la coopération*. Document pédagogique (non publié). LAMIH-PERCOTEC, Université de Valenciennes, France.
- Hoc, J.-M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54, 509-540.
- Hoc, J. M., & Amalberti, R. (1995). Diagnosis: some theoretical questions raised by applied research. *Current Psychology of Cognition*, 14, 73-101.
- Hoc, J.-M., & Amalberti, R. (1999). Analyse des activités cognitives en situations dynamique: D'un cadre théorique à une méthode. *Le Travail Humain*, 62, 97-129.
- Lee, J.D., & Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35, 1243-1270.
- Lee, J.D., & Moray, N. (1994). Trust, self-confidence, and operators'adaptation to automation. *International Journal Human-Computer Studies*, 40, 153-184.
- Logan, G.D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492-527.
- Muir, B.N. (1994). Trust in automation : Part I. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems. *Ergonomics*, 37, 1905-1922.
- Neboit, M. (1977). L'analyse psychologique des tâches et la définition des objectifs de la formation. *Cahier d'étude ONSER*, 41.
- Perruchet, P. (1988). Une évaluation critique du concept d'automatisme. In Perruchet, P., *Les automatismes cognitifs* (pp. 27-54). Bruxelles : Mardaga.
- Rempel, J.K., Holmes, J.G. & Zanna, M.P. (1985). Trust in close relationship ships. *Journal of Personality and Social Psychology*, 49, 95-112.
- Saad, F., & Villame T. (1999). Intégration d'un nouveau système d'assistance dans l'activité des conducteurs d'automobile. In J. Ganascia (Ed.), *Sécurité et cognition*, (pp. 105-114). Paris : Hermès.
- Sanderson, P. M., Scott, J., Johnson, T., Mainzer, J., Watanabe, L., & James, J. 1994. MacSHAPA and the enterprise of exploratory sequential data analysis (ESDA). *International Journal of Human-Computer Studies*, 41, 633-681.
- Zuboff, S. (1988). *In the age of the smart machine : The future of work and power*. New York : Basic Books.

L'erreur de diagnostic en médecine d'urgence : études de cas¹

Laetitia Marqué

Laboratoire Travail et Cognition

UTM- MDR

5, Allées A. Machado, 31058 Toulouse Cedex

lmarquie@univ-tlse2.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de préciser les mécanismes cognitifs qui sous-tendent l'activité de diagnostic médical à travers l'erreur diagnostique. Nous avons constitué une classification où 3 niveaux sont présents : le niveau contextuel, le niveau logique et le niveau performatif. Cette classification est inspirée de celle proposée par Reason (1990) et d'un modèle d'optimisation du diagnostic médical (Raufaste, 2001). Nous avons examiné 30 dossiers d'erreurs archivés dans un service d'urgences. Avec l'aide d'un médecin urgentiste expert, nous avons répertorié toutes les informations concernant le contexte, les étapes du diagnostic et de la prise de décision. Les résultats obtenus à partir de cette classification ont permis de poser un certain nombre d'hypothèses sur notamment (i) les facteurs contextuels qui influencent de manière déterminante le raisonnement et la prise de décision du médecin; (ii) de localiser les erreurs en fonction du niveau où elles interviennent dans la logique de la tâche.

MOTS-CLÉS

Diagnostic médical, Erreur humaine, Situations dynamiques, Prise de décision, Activités complexes

1 Introduction

L'importance des enjeux (juridiques, humains, financiers, psychologiques ...) associés aux erreurs humaines dans le milieu médical nous amène aujourd'hui à nous interroger sur leurs origines. Les connaissances accumulées sur les mécanismes cognitifs du diagnostic médical expliquent en grande partie les processus d'une performance optimisée tels qu'ils apparaissent au travers des différences experts/novices. L'objectif de cette étude est d'apporter un éclairage supplémentaire sur les processus cognitifs des activités de diagnostic et prise de décision médicale sous l'angle de leurs défaillances, et des erreurs qui peuvent en découler. L'étude de l'erreur humaine dans le diagnostic médical dans un service des urgences est particulièrement intéressante parce qu'elle met en jeu un certain nombre de facteurs qui peuvent influencer de manière importante l'activité cognitive du médecin en situation dynamique.

2 Cadre théorique

2.1. Caractéristiques du service des urgences

La médecine d'urgence se caractérise par une pression temporelle variable (hebdomadaire et journalière) et parfois extrêmement forte (par exemple : en plus d'un effectif réduit le samedi et le dimanche, on enregistre un surcroît d'entrées ces jours là de + 5%). Le diagnostic et la prise de décision en médecine d'urgence présentent quotidiennement des enjeux vitaux (le pourcentage des patients dont l'état est inquiétant à l'entrée est de 53%). Des contraintes matérielles lourdes pèsent sur

¹ Note des éditeurs : Pour des problèmes techniques, nous n'avons pas publié la version révisée de ce papier. La version présentée ici ne tient donc pas compte des remarques du comité de programme.

cette situation de travail (la progression de la fréquentation annuelle est en rapide augmentation depuis 10 ans (e.g. : +12.5% en 1999), alors que les moyens matériels et personnels n'ont pas changé depuis 1993). Enfin, ces services sont en contact avec une population très diverse et souvent génératrice de stress pour le personnel soignant, stress renforcé par le recours de plus en plus fréquent à la justice en cas de suspicion d'erreur (le nombre de plaintes déposées est en constante évolution).

Plus précisément, concernant l'activité des médecins, le diagnostic doit être réalisé plus rapidement que dans d'autres services, d'une part à cause de contraintes matérielles (le nombre de lits dans le service est limité) et d'autre part à cause de l'incertitude présumée liée à la gravité du cas patient.

L'accès aux informations durant l'interrogatoire est réduit au strict minimum. Les informations sont, dans la plupart des cas, données par le patient lui-même. Contrairement aux médecins généralistes, le médecin urgentiste ne connaît pas l'histoire du patient et de ses antécédents, ce qui le plus souvent ne permet pas de réduire l'espace des possibles. Les variables évolutives, qui seraient nécessaires pour pallier à ce manque, sont aussi difficiles à obtenir du fait de l'urgence présumée au départ et des contraintes matérielles qui réduisent la durée d'hospitalisation (les patients restent en moyenne 10h35).

2.2. L'activité de diagnostic médical : dynamique de compréhension et spécificités

En 1974, Simon et Lea développent un modèle de compréhension de l'activité diagnostique en distinguant trois étapes principales : (i) la sélection des faits ; (ii) l'évocation et le test d'hypothèse ; (iii) l'arrêt du cycle (qui consiste au choix de l'hypothèse qui convient le mieux à l'ensemble des symptômes). Le modèle fait intervenir deux espaces de recherches : l'espace des règles et celui des exemples. Klahr et Dunbar (1988) insistent sur l'alternance permanente entre les hypothèses générées et les symptômes. Ces modèles théoriques permettent de décrire les différentes étapes du diagnostic médical, néanmoins, ils ne prennent pas compte des aspects situationnels et pragmatiques qui sont complètement négligés. En situation réelle, les médecins utilisent des stratégies ou heuristiques qui leur permettent d'appréhender la complexité des situations dans lesquelles ils sont engagés. Par exemple, la première tâche est une sélection des faits qui est soumise à des filtres liés à la fréquence et à la saillance (Reason, 1990). Il est aussi important de noter que l'acquisition d'indices vise souvent à confirmer les hypothèses plutôt qu'à les réfuter, que ce mécanisme soit d'origine délibéré ou non (Evans, 1989). Un résultat bien établi dans la littérature sur le diagnostic médical est le fait que si une hypothèse ne fait pas partie de l'ensemble initialement sélectionné, alors cette hypothèse a très peu de chance d'être introduite ultérieurement (e.g. ; Sébillotte, 1984 ; Lesgold *et al.*, 1988).

Outre les heuristiques et autres stratégies propres au raisonnement du médecin, il est important de considérer les facteurs situationnels qui peuvent influencer cette activité. D'une part, les informations initiales n'étant pas toujours fiables et adéquates, il est souvent nécessaire que le médecin obtienne d'autres informations, par exemple sur l'évolution des paramètres du patient (Elstein, Shulman & Sprafka, 1978 ; Sébillotte, 1982). D'autre part, le diagnostic médical n'est pas seulement une activité de classification ou de catégorisation car il est orienté par la prise de décision. Dans le domaine médical, le diagnostic prend souvent la forme d'un pronostic, dans la mesure où l'activité médicale vise à prévenir le mieux possible les conséquences néfastes des maladies sur les patients (Hoc & Amalberti, 1994). Plus généralement, l'activité diagnostique est soumise à des objectifs plus larges (i) le critère d'arrêt du diagnostic est influencé par les possibilités d'action, (ii) toute action va de pair avec un niveau d'incertitude (iii) la décision entre dans une stratégie de gestion des risques et des coûts (Hoc, 1996). Dans cette mesure, il est important de considérer l'activité du médecin comme un "compromis cognitif" de gestion des risques et des coûts.

2.3. Problématique

Il est important de commencer par définir un cadre général dans lequel aborder le problème de l'erreur. Amalberti (1996) propose un modèle appelé le compromis cognitif, où l'erreur fait partie de l'ensemble des stratégies et des processus cognitifs humains. Dans ce modèle, les erreurs sont d'une utilité évidente dans le processus d'apprentissage et d'adaptation. L'erreur renvoie au sujet l'image de son propre fonctionnement. Secondairement, l'erreur permet ainsi un meilleur réglage et un meilleur ajustement dans le compromis cognitif. Les imprécisions ou les ratés sont donc nécessaires car ils sont un outil du compromis cognitif et permettent une meilleure performance. Il est important de noter que le

modèle du compromis cognitif, s'inscrit dans une longue évolution de la place de l'erreur en psychologie cognitive et en ergonomie.

Notre objectif est de cerner la situation dynamique propre au service des urgences; de cerner les contraintes présentes dans cette situation et qui peuvent affecter le raisonnement; de comprendre les mécanismes psychologiques qui sous tendent l'activité de diagnostic médical par le biais de ces erreurs. Pour cela, il est nécessaire d'articuler la classification proposé par Reason (1990) avec les trois valeurs de rationalité proposé par Raufaste (2001). Il existe aujourd'hui un relatif consensus sur la définition de l'erreur, fruit de nombreux travaux, (e.g., Leplat, 1985 ; Reason, 1990 ; De Keyser, 1993). L'erreur est un écart par rapport à une norme, alors qu'il existe des degrés de liberté – des possibilités d'agir différemment et une intentionnalité, c'est-à-dire l'intention préalable d'atteindre cette norme. Ici, se pose alors la question de la norme auquel se rapporte la définition de l'erreur (s'agit-il d'une norme par rapport à une utilité espérée, d'une norme thérapeutique...). Puisque nous étudions l'erreur diagnostique, nous considérons comme telle : *un défaut ou une succession de défauts qui sont apparus dans le raisonnement du médecin (que les causes soient internes ou externes au raisonnement) et qui a eu pour effet l'élaboration d'un diagnostic et/ou d'une décision thérapeutique inexacte*. La classification que nous proposons comporte trois niveaux : (i) le niveau contextuel, (ii) le niveau logique et (iii) niveau performatif. Le niveau contextuel fait référence aux déterminants situationnels de l'erreur (informations disponibles, événements extérieurs, etc.). Le niveau logique, ou niveau de la logique de la tâche, fait référence aux conditions de déclenchement de l'erreur en un point particulier de la séquence des opérations nécessaires à la réalisation optimale de la tâche. Le niveau performatif exploite des hypothèses sur les mécanismes cognitifs impliqués dans la production d'erreur. Les deux premiers niveaux sont facilement identifiables car ils ne dépendent pas du sujet. Par contre, il est plus difficile d'identifier le type d'erreur qui a été commis au niveau performatif. Pour cela, il faut se référer à un modèle qui puisse nous informer sur le les mécanismes cognitifs (propres au médecin) en jeu dans la production des erreurs. A cet effet, Raufaste (2001) propose un modèle de l'optimisation de la performance fondé sur le concept de "valeurs de rationalité". Il s'agit de dimensions de l'activité cognitive pouvant servir à évaluer l'optimisation des processus sous-jacents au diagnostic. En s'appuyant sur les travaux réalisés dans le domaine de l'expertise, trois valeurs de rationalité ont été définies : la richesse, la pertinence et la flexibilité. (i) La "richesse" représente la diversité qualitative et quantitative des connaissances mise en œuvre par le médecin. En effet, pour faire face à l'extrême complexité de son environnement, il est nécessaire que le médecin dispose d'un répertoire comportemental dont la richesse est en rapport avec cette complexité. (ii) Le choix de la valeur de "pertinence" résulte de la limitation des ressources cognitives et plus précisément de la capacité limitée de la mémoire de travail. Pour pallier ce déficit structural face à la richesse des connaissances disponibles, il est nécessaire de limiter le traitement aux seules informations pertinentes. Une sélection des faits, hypothèses et procédures pertinentes est donc nécessaire. Plusieurs études montrent que les experts intègrent une proportion plus forte d'informations pertinentes dans leur représentation (Lesgold *et al.*, 1988; Raufaste, Eyrolle & Mariné, 1998). (iii) La "flexibilité" est rendue nécessaire lorsqu'un cas est trop atypique pour que les automatismes à la base de la richesse et de la pertinence soient suffisants pour résoudre le cas. Elle résulte d'une remise en question de la représentation construite par les processus automatiques. La "flexibilité" est une caractéristique fondamentale de l'expertise (Olsen & Rasmussen, 1989). La classification des erreurs sera donc réalisée à partir du croisement des deux niveaux externes au sujet (contextuel et logique) avec les valeurs de rationalité du niveau performatif. L'utilisation de cette classification est pertinente ici, car elle met en relation les exigences de la tâche et du contexte avec les mécanismes cognitifs en jeu lors de l'activité de diagnostic.

3 METHODOLOGIE

Nous disposons de 30 dossiers complets d'erreurs diagnostiques, enregistrés et archivés dans le service médico-chirurgical du service des Urgences. Chaque dossier est notamment composé de la fiche d'orientation du patient (remplie par les infirmiers), d'une fiche de relevé des constantes (remplie par les infirmiers), fiche d'observations et de transmissions (remplie par les infirmiers), d'une fiche de prescription médicale (remplie par les médecins), fiche de description du patient avec notamment ses antécédents, le motif présumé de l'hospitalisation, les examens. Pour chaque dossier, nous répertorions toutes les informations données sur le patient au cours de son hospitalisation avec notamment l'heure d'entrée et de sortie, l'évolution de l'état du patient au cours de son

hospitalisation, les examens et médicaments qui lui ont été prescrits, les résultats des examens qui ont été commandés.

Les informations complémentaires concernant les aspects situationnels de chaque dossier ainsi que les explications médicales (ce qu'il aurait fallu faire, pour aboutir au bon diagnostic) nous sont données par un médecin expert (chef du service médico-chirurgical des urgences). A partir de ces informations, nous avons constitué un " arbre des causes " pour chaque dossier, avec les éléments qui ont pu contribuer à l'erreur diagnostique; et une classification complète comprenant un niveau contextuel (les éléments contextuels qui contribuent à l'erreur diagnostique : caractéristiques du patient, horaire effectué ce jour là par le médecin...), un niveau cognitif comprenant les différentes étapes du raisonnement médical (recueil des données, génération des hypothèses, commande des examens pour la vérification des hypothèses, diagnostic, décision), et une typologie des erreurs selon le modèle des valeurs de rationalité. La localisation et la typologie des erreurs est déterminée selon la méthode des juges (délibérations entre 3 personnes).

4 RESULTATS

4.1 L'exemple d'une étude de cas

Dans le dossier n°2 (Figure 1), le patient, M., arrive au service des urgences pour vomissements ainsi que céphalées prédominantes à la nuque et irradiant vers le cerveau, rebelles aux traitements. Il repart 11h25' plus tard, avec un diagnostic de crises de migraines aiguës et le traitement antalgique correspondant. En réalité il souffrait d'une dissection vasculaire et n'aurait jamais dû être autorisé à sortir.

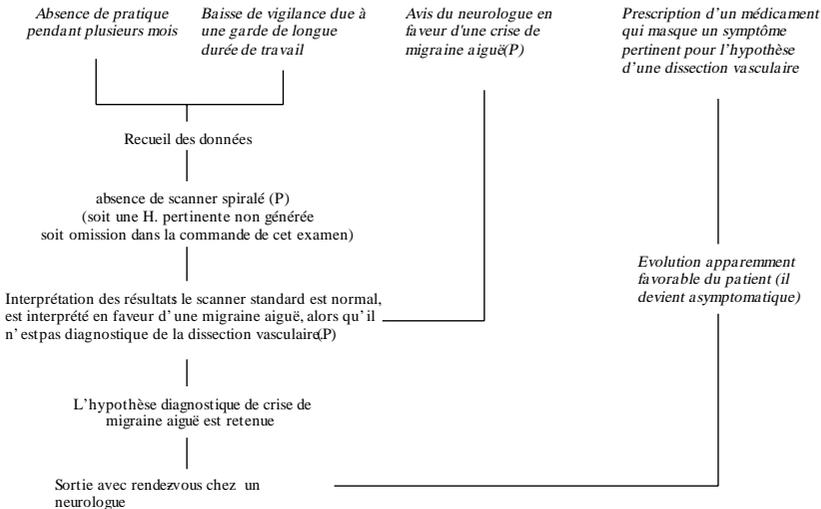


Figure 1 : Arbre des causes du dossier n°2

Ici, l'objectif est de retracer les événements contextuels (en italique), par ordre chronologique (de haut à en bas), et au niveau du raisonnement (du recueil des données à la sortie du patient).

4.2 Les premiers constats

Comme il apparaît dans le Tableau 1, rares sont les erreurs qui relèvent uniquement du raisonnement du médecin (1 cas sur 7). L'intervention des éléments du contexte se manifeste régulièrement. Les erreurs de flexibilité se produisent généralement vers la fin du raisonnement, c'est-à-dire au moment du diagnostic ou de la décision alors que les erreurs de pertinence et de richesse se situent plutôt dans le début du raisonnement. La richesse est liée au recueil initial des données et à la commande des examens. La pertinence intervient dans les quatre premiers niveaux. Le

temps joue un rôle essentiel dans l'activité de diagnostic et sa difficulté de gestion peut être génératrice d'erreur. Cette difficulté de gestion du temps s'exprime essentiellement au travers de l'évolution de la maladie du patient. Dans le cas d'une appendicite par exemple, l'évolution de la maladie est complètement imprévisible et nécessite une longue surveillance.

Dossier	Niveau contextuel	Niveau de la logique de la tâche					
		Recueil initial des données	Génération des hypothèses	Commande des examens	Interprétation des résultats	Diagnostic	Décision
1		P				F	
2	☐☐○○ ○			P	P		
3	☐○○○	R		R			
4	☐☐☐○ ○			P	P		
5	☐○○						F
6	☐				P		
7	☐☐						F
Proportion	6/7	2/7		3/7	2/7	1/7	2/7

Tableau 1 : Classification des erreurs dans 7 dossiers médicaux.

Niveau de la logique de la tâche : Erreurs de richesse (R); Erreurs de pertinence (P); Erreurs de flexibilité (F); Niveau contextuel : ○ : Erreurs liées aux informations disponibles; ☐ : Erreurs liée à la dynamique du processus

5 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Ces premières analyses montrent la faisabilité d'une classification des erreurs constatées sur des cas réels au moyen de la typologie que nous proposons. Certes, cette classification n'est pas toujours aisée car dans certains cas (exemple du dossier n°2 vu plus haut), le manque d'informations ne nous permet pas d'identifier avec certitude le lieu de l'erreur. Ainsi, en l'absence d'informations explicites sur les hypothèses évoquées par le médecin, un examen pertinent non commandé peut s'interpréter comme une défaillance au niveau de la génération des hypothèses (l'hypothèse correspondante n'aurait pas été évoquée) ou comme une défaillance au niveau de la mise en œuvre du test des hypothèses (l'hypothèse correcte aurait été évoquée mais l'examen pertinent non prescrit).

Plus fondamentalement, les valeurs de rationalité prises en compte dans l'état actuel de la recherche ont été élaborées pour le diagnostic en général. Cette typologie ne permet pas, dans son état actuel, de rendre compte de l'importance que revêt le caractère dynamique de la situation en médecine d'urgence. L'optimisation de la pratique médicale (raisonnement et prise de décision) dans ce type de situations ne saurait se concevoir indépendamment de la dimension temporelle. Par conséquent, nous envisageons dans un avenir proche d'intégrer une nouvelle valeur de rationalité permettant de traiter plus précisément l'optimisation liée à la gestion du caractère dynamique de la situation. A cet effet, Raufaste (communication personnelle) a proposé d'inclure une quatrième valeur de rationalité qui serait la "synchronisation". Cette nouvelle valeur de rationalité capturerait à la fois la dimension anticipative de l'activité et l'ajustement en temps réel de la représentation et de l'action aux variations non prévues de la situation.

L'apport de l'utilisation d'une telle typologie tient à ce qu'elle met en relation les déterminants situationnels, la logique de la tâche et les processus cognitifs. En effet, au niveau performatif, les erreurs de richesse, de pertinence et de flexibilité renvoient à des traitements cognitifs de nature différente. Par exemple, les erreurs de pertinence sont principalement liées à des automatismes tandis que les erreurs de flexibilité sont plutôt liées à une mise en œuvre insuffisante de traitements attentionnels. En mettant en relation, le croisement des facteurs contextuels et de la logique de la tâche avec les déterminants performatifs, nous serons en mesure d'identifier d'une part le poids relatif de ces déterminants et, plus intéressant, le type de processus cognitifs en cause dans la production de l'erreur avec le contexte et avec la logique de la tâche. Par exemple, les résultats rapportés plus haut, s'ils se confirment par la suite, suggèrent que les erreurs de richesse et de pertinence surviennent majoritairement dans les premières étapes de la tâche, tandis que les erreurs de flexibilité surviennent

plus tard. Par la suite, il sera intéressant d'étudier si les erreurs liées à la nouvelle valeur de synchronisation interviennent, elles aussi à des moments particuliers dans la logique de la tâche.

A terme, l'objectif de la classification que nous venons de présenter est de permettre l'élaboration d'hypothèses empiriquement testables concernant les mécanismes cognitifs de l'erreur et les moyens de remédiation qu'il est possible d'envisager. En particulier, cette typologie devrait permettre d'identifier les sources d'erreurs en fonction du moment du diagnostic. Cela devrait permettre d'élaborer des recommandations sur les aménagements ergonomiques souhaitables en médecine d'urgence, et des prescriptions visant à attirer l'attention des médecins sur les types d'erreurs qu'ils risquent de commettre en fonction des étapes du diagnostic. Ce point apparaît important à la lumière des travaux d'Amalberti (1996) qui mettent l'accent sur le rôle de la détection des erreurs chez les experts. En particulier, du fait que les mécanismes cognitifs générateurs d'erreurs sont différents selon que l'on considère des experts ou des novices, ou encore que l'on considère des experts de base et des super-experts, la mise en relation des mécanismes cognitifs avec les étapes de la tâche et les déterminants situationnels devrait conduire à des recommandations en direction des médecins seniors dans leur supervision de l'activité des jeunes internes.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : PUF.
- De Keyser, V. & Nyssen, A. S. (1993). Les erreurs humaines en anesthésie. *Le travail humain*, 56, 2-3, 243-26.
- Elstein A.S., Shulman L.S., & Sprafka S.A. (1978). *Medical Problem Solving: An analysis of clinical reasoning*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Evans, J.St.B.T. (1989). *Bias in human reasoning: Causes and consequences*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Hoc, J.-M., Amalberti, R. (1994) Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques, *Psychologie Française*, 39-2, 177-192.
- Hoc, J.M. (1996) Supervision et contrôle de processus : la cognition en situation dynamique.
- Hollnagel E. (1991), Cognitive Ergonomics and Reliability of Cognition. First *Travail Humain* Workshop, Paris May.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 12,1- 48.
- Leplat J. (1985), *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris : Armand Colin.
- Lesgold, A.M., Rubinson, H., Feltovich, P., Glaser, R., Klopfer, D., & Wang, Y. (1988). Expertise in a complex skill: Diagnosing X-Ray Pictures. in M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J Farr (Eds.), *The Nature of Expertise* (pp. 311-341). Hillsdale, NJ: LEA.
- Olsen, S.E., & Rasmussen, J. (1989). The Reflective Expert and the Prenovice: Notes on Skill-, Rule- and Knowledge-base Performance in the Setting of instruction and Training. In L. Bainbridge & S.A. Ruiz-Quintanilla (Eds.), *Developing skills with information technology* (pp. 9-33). Chichester : Wiley.
- Raufaste E. (2001). Les mécanismes cognitifs du diagnostic médical, Optimisation du raisonnement et Expertise. *Coll : Travail Humain*.
- Raufaste, E., Eyrolle, H., & Mariné, C. (1998). Pertinence generation in radiological diagnosis: Spreading activation and the nature of expertise. *Cognitive Science*, 22, 4,517-546.
- Reason, J. (1993). *L'erreur humaine* (J.M. Hoc, Trad.). Paris: Presses Universitaires de France. (Édition originale, 1990).
- Sébillotte S. (1984). La résolution de problème en situation de diagnostic, un exemple: le diagnostic médical, *Psychologie Française*, 29-3, 273-277.
- Simon, H.A., & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction. In L. Gregg (Ed.), *knowledge and Cognition* (pp. 105-128). LEA. (reprinted in H.A. Simon (Ed.), *Models of thought* (pp. 329-346). New-Haven: Yale University Press).

Définitions et méthodologie relatives à la complexité des IHM vocales: Grille et cartographie de la complexité d'utilisation

Carmen Guyot-Toudic

FTR&D, 2, avenue Pierre Marzin 22300 Lannion

carmen.guyot@rd.francetelecom.com

Eric jamet

Université de Haute Bretagne, 6, Avenue Gaston Berger 35000 Rennes

Solenn Botrel

FTR&D, 2, avenue Pierre Marzin 22300 Lannion

solenn.botrel@rd.francetelecom.com

Catégorie de soumission : communication jeune chercheur
Evaluation ergonomique des IHM

RESUME

Cette étude vise à identifier les facteurs qui participent à la complexité d'utilisation des interfaces vocales afin de construire une grille qui soit un outil d'évaluation de cette complexité. En s'appuyant sur des résultats d'évaluations des IHM vocales réalisées par différentes entités de France Telecom et sur une analyse théorique, une modélisation de la complexité des interfaces vocales est proposée afin d'identifier ce qui est complexe pour les utilisateurs dans ce contexte précis d'interaction.

MOTS-CLES

Interfaces vocales, complexité, utilisabilité, évaluation, grille.

1. INTRODUCTION

L'évaluation de la complexité d'utilisation des interfaces vocales nécessite la construction d'une grille mentionnant des critères de complexité. La réalisation de cette grille fait appel à une double méthode. Elle s'appuie, d'une part sur une analyse théorique, conceptuelle et psycho-cognitive, afin de définir ce qui est complexe pour un utilisateur en interaction avec une IHM vocale et d'autre part, sur une analyse des résultats de rapports de tests d'utilisabilité réalisés par France Telecom. La catégorisation des critères ainsi relevés conduit à la construction d'une grille qui bénéficie d'un rapprochement des données théoriques et empiriques. Ces critères sont ensuite pondérés afin d'élaborer une cartographie de la complexité d'utilisation des IHM vocales.

2. POSITION DU PROBLEME

2.1 Les problèmes ergonomique des IHM vocales

Les IHM vocales sont des services vocaux téléphoniques utilisables par le biais de l'interaction vocale ou DTMF (Dual Tone Modulation Frequency). De nombreux utilisateurs évoquent le fait d'avoir des difficultés d'utilisation des services vocaux en ne sachant pas quoi dire, sur quelle touche appuyer, dans quelle rubrique trouver l'information recherchée ou en ne se souvenant pas des informations importantes qu'ils entendent au fur et à mesure de leur navigation.

Lors d'une interaction vocale, l'utilisateur est plongé dans un environnement sonore exclusif. Il traite et mémorise les informations au fur et à mesure qu'elles lui sont délivrées. Il ne peut pas, ou

difficilement, effectuer de retours en arrière, de pauses ou de modulations du débit des informations qui permettraient de compenser d'éventuelles défaillances de la mémoire de travail ou difficultés de compréhension. Dans ce type d'interaction, l'utilisateur semble plus dépendant de ses capacités de mémoire de travail et de compréhension qu'en mode graphique, par exemple. L'absence de possibilités de compensation a probablement une influence sur la complexité d'utilisation et de compréhension des interfaces vocales.

L'utilisation d'un service vocal peut être considérée comme une activité de recherche d'informations dans un réseau au cours de laquelle l'utilisateur doit naviguer tout en analysant, comparant les contenus et les relations entre les rubriques. La réalisation de ces multiples tâches suppose la mise en œuvre de processus sous la dépendance de ressources telles que la mémoire de travail. Elle exige ainsi une importante gestion cognitive et impose une charge mentale à l'utilisateur (Rouet et Tricot, 1998). Ce phénomène de surcharge cognitive peut expliquer pour une grande part la désorientation des utilisateurs lors de la navigation dans un service vocal.

2.2 IHM et cognition

Selon Moran (1981), l'interface désigne les aspects du système avec lesquels l'utilisateur entre en contact de façon physique ou perceptuelle. Pour les interfaces vocales, il s'agit respectivement des commandes DTMF, des informations reçues par l'utilisateur et celles qu'il envoie au système, ainsi que des finalités pour lesquelles le système est conçu. De plus, l'utilisateur construit un modèle mental du système au fur et à mesure qu'il l'utilise et apprend son fonctionnement. Moran considère ainsi l'interface comme se construisant autour de deux entités : le fonctionnement du système et le modèle mental de l'utilisateur. Il distingue quatre niveaux d'interaction entre l'utilisateur et le système : le niveau tâche, qui décrit la tâche adressée par le système, le niveau sémantique, qui décrit les concepts représentés par le système, le niveau syntaxique, qui décrit la structure des commandes et le niveau interaction, qui décrit la structure du dialogue.

Selon Kieras et Polson (1982), la complexité d'un système dépend de la quantité et du contenu des informations de ce système ainsi que de la structure de connaissance exigée pour l'utiliser correctement. Plus particulièrement, elle dépend :

- de la complexité de la représentation de la tâche par l'utilisateur ainsi que des demandes d'apprentissage, de mémoire et de capacités de traitement impliquées par cette représentation de la tâche
- du nombre de fonctions dépendantes du système ainsi que de la difficulté à les apprendre
- de la facilité avec laquelle l'utilisateur peut acquérir les connaissances du mode de fonctionnement du système

Les auteurs proposent ainsi deux types de représentation, l'une concernant la connaissance de l'utilisateur sur la façon d'accomplir une tâche, l'autre à propos du système lui-même, qui sont impliqués dans la facilité (ou la difficulté) d'utilisation du système.

En 1988, Norman introduit la notion de modèle mental dans l'interface. Dans sa représentation conceptuelle, « l'image du système » correspond à la partie visible du système, le modèle de conception correspond au modèle mental du concepteur, à la façon dont il se représente la conceptualisation du système et le modèle de l'utilisateur correspond au modèle mental que l'utilisateur développe à travers son interaction avec le système. Dans l'idéal, le modèle de l'utilisateur et le modèle de conception sont équivalents mais les communications entre ces deux modèles ont lieu à travers l'image du système. Si cette image ne rend pas le modèle de conception clair et cohérent, l'utilisateur construit un modèle mental erroné et éprouve des difficultés d'utilisation du système.

Ainsi, l'analyse de la complexité d'utilisation des interfaces peut s'effectuer selon deux points de vue : celui du modèle de conception et/ou celui du modèle utilisateur.

3. ELABORATION DE LA GRILLE DE COMPLEXITE

3.1 Hypothèses

D'après Norman (1988), la complexité des interfaces vocales dépend du modèle de conception et du modèle utilisateur. Cependant, le modèle de conception défini par Norman ne prend en compte que la conceptualisation du système dans ses aspects physiques. Nous considérons que le modèle de conception se construit également en fonction de la représentation que se fait le concepteur de l'activité de l'utilisateur. Ainsi, le modèle de conception définit ce dont est constitué le système. Le modèle de l'utilisateur, que nous appelons plutôt «modèle d'utilisation», est la représentation par l'utilisateur de la structure et du fonctionnement du système. Le modèle du concepteur est une mise en correspondance du modèle de conception et du modèle d'utilisation. L'interface s'articule alors autour du modèle de conception, du modèle du concepteur, du modèle d'utilisation et de l'image du système (figure 1).

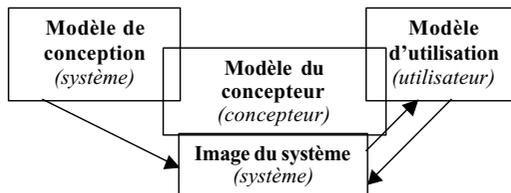


Figure 1 : Les modèles conceptuels de l'interface : le modèle de conception, le modèle du concepteur, le modèle d'utilisation et l'image du système.

En nous appuyant sur cette modélisation de l'interface, nous faisons l'hypothèse que les éléments de complexité relevés lors des lectures de tests se déclinent au niveau du modèle de conception, du modèle d'utilisation et/ou du modèle du concepteur.

3.2 Méthode

L'analyse de rapports de tests d'utilisabilité permet de relever les points de complexité d'utilisation des services vocaux. Ces tests, au nombre de 13, sont des tests ergonomiques de qualité globale réalisés à France Telecom, de 1998 à 2000. Les données retranscrites dans chacun de ces tests sont des éléments de qualité globale. Parmi ces éléments sont relevés les points de complexité observés par les expérimentateurs et/ou rapportés par les utilisateurs. Ces points de complexité sont catégorisés en fonction de l'élément de l'interface auquel il fait référence. Par exemple, dans le service Top Message, certains termes utilisés sont trop techniques: "radio messagerie", "archiver", "boîte vocale", "GSM". Le niveau de technicité des termes est un point de complexité qui réfère à la terminologie du service. L'élément de complexité "présence de termes techniques" est associé à la catégorie "terminologie", qui désigne une source de complexité (voir tableau 1). La méthode de catégorisation émane donc des exemples issus des rapports de tests, qui sont des indicateurs et forment les noms des catégories.

Ainsi, au fur et à mesure des lectures de rapport de tests, nous relevons des éléments de complexité qui sont ensuite catégorisés afin d'identifier les sources de complexité d'utilisation des services vocaux. Cette démarche adoptée pour la catégorisation est une démarche prospective, d'observation large, sans protocole expérimental préalable.

Les indicateurs de complexité relevés se déclinent au niveau du système, du concepteur et/ou de l'utilisateur. La catégorisation de ces indicateurs aboutit à l'identification des sources de complexité situées à différents niveaux de l'interface : niveau sémantique, niveau syntaxique, niveau tâche, niveau

interaction. Ainsi, la grille de complexité des interfaces vocales est construite d'après un rapprochement des données théoriques et des données empiriques.

4. RESULTATS

Nous ne présentons ici qu'un critère de complexité mentionné dans la grille, la terminologie.

Tableau 1 : Grille de complexité. Exemple de la terminologie

Niveaux d'interaction	Sources de complexité	Indicateurs		
		Système (modèle de conception)	Concepteur (modèle de l'utilisateur)	Utilisateur (modèle de l'utilisateur)
Niveau sémantique	Terminologie	Présence de termes inhabituels	Termes proposés dans le service inadaptés au niveau de connaissance de l'utilisateur	Difficulté de compréhension des termes techniques
		Présence de termes techniques		Difficulté de compréhension des termes inhabituels
		Présence de voisins phonétiques	Non adéquation entre le nombre de mots clés prononcés et le nombre total de mots clés nécessaires	Utilisation de voisins sémantiques des mots clés
		Présence de synonymes		Utilisation de synonymes
				Utilisation de voisins phonologiques
				Difficulté de compréhension des fonctions associées aux mots de commande

4.1 Lecture de la grille

Les indicateurs de difficultés liés au vocabulaire utilisé dans le service se situent au niveau du modèle de conception. Ceux mesurés par le concepteur, en fonction de sa représentation de la complexité d'utilisation du service liée à la terminologie employée, correspondent au modèle de l'utilisateur. Les comportements et verbalisations des utilisateurs à propos de leurs difficultés d'utilisation et de compréhension de la terminologie sont caractéristiques du modèle d'utilisation.

De plus, la source de complexité « terminologie » se situe au niveau sémantique de l'interface, les termes proposés et employés sont des objets manipulés par l'utilisateur. Ainsi, neuf catégories ou sources de complexité sont relevées. Certaines des ces catégories se divisent en sous-catégories.

4.2 Pondération des critères

Chaque critère de complexité est pondéré en fonction de sa contribution à la complexité globale d'utilisation des interfaces vocales testées. Par une étude de fréquence d'observation, nous définissons les critères les plus fréquemment observés, ceux considérés le plus souvent comme peu bloquants, moyennement bloquants ou très bloquants. L'analyse des résultats permet de construire une cartographie de la complexité d'utilisation des interfaces vocales (figure 2).

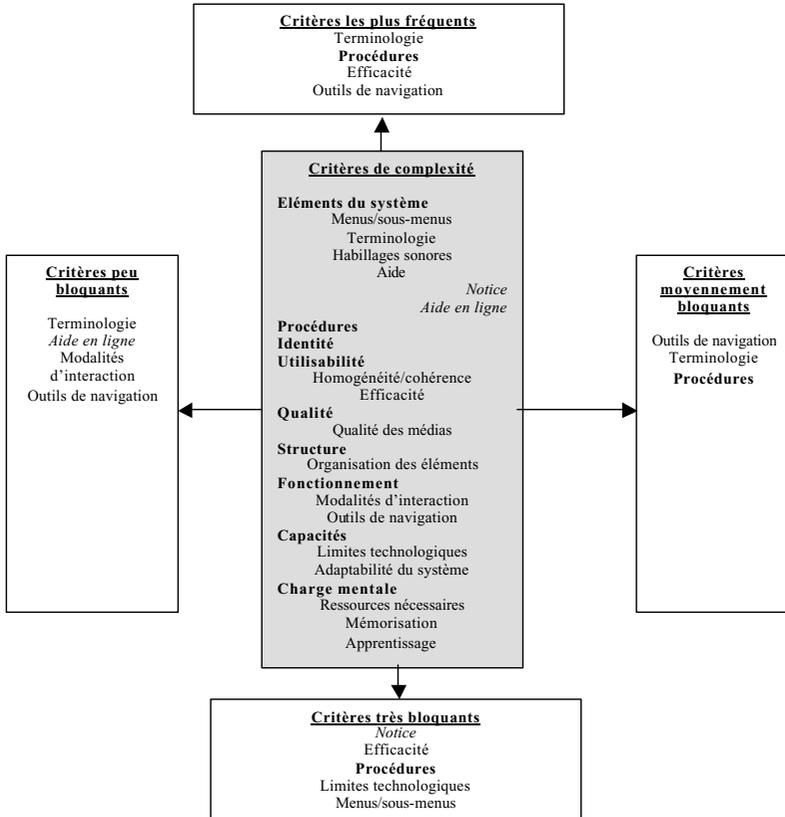


Figure 2 : Cartographie des critères de complexité

5. CONCLUSION

Cette étude a pour objet la réalisation d'une grille d'évaluation de la complexité des interfaces vocales. Une double analyse, théorique et de rapports de tests, propose une modélisation de la complexité de ce type d'interface. L'approche théorique de la psychologie cognitive montre quelles sont les contraintes engagées par l'utilisation d'un service vocal sur le fonctionnement cognitif de l'utilisateur. Dans un processus de conception et d'évaluation des services, la spécificité de cette démarche, qui privilégie l'utilisateur comme centre d'analyse, est d'adapter le mieux possible la conception du système au fonctionnement cognitif de l'utilisateur. Chaque critère de complexité proposé, s'appuie sur l'activité cognitive d'utilisateurs en contexte et met en exergue des difficultés liées à la capacité limitée de la mémoire de travail et/ou à la construction d'un modèle mental de l'interface. Les critères de complexité, ainsi fondés sur une analyse psycho-cognitive s'appliquent à des domaines divers (ergonomie, psychoacoustique, linguistique, etc...). Enfin, la modélisation

proposée apparaît généralisable ; elle pourra être, tout ou partie, reprise pour la constitution de protocoles d'évaluation d'interfaces, qu'elles soient vocales ou non.

6. BIBLIOGRAPHIE

Kieras, D. & Polson, P.G. (1982). *An outline of a theory of the user complexity of devices and systems*. Working paper n°1, University of Arizona and University of Colorado.

Moran, T.P. (1981). The Command Language Grammar : a representation for the user interface of interactive computer system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 3-50.

Norman, D.A. (1988). *The Psychology of everyday things*. Basic books, USA.

Rouet, J.F., & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. In A. Tricot & J.F. Rouet (Eds.), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques* (pp. 57-74). Paris :Hermès.

La gestion des conflits d'objectifs dans la conduite de processus industriels

LETZKUS Pierre

Doctorant CEA / TECHNICATOME* / Université de Toulouse le Mirail**

Centre d'Études de Cadarache

DER/STR/LCFR – Bat 208, 13108 St Paul lez Durance

letzkus@cea.fr

RÉSUMÉ : Cet article propose de définir une problématique de recherche sur la gestion des conflits d'objectifs : elle a pour but d'étudier les mécanismes fondamentaux de la détection et de la résolution des conflits d'objectifs dans la conduite de procédés. Cette activité de haut niveau, mise en œuvre par les équipes de conduite des systèmes à risques, s'avère aujourd'hui peu assistée par les Interfaces Hommes-Machines. Il apparaît que sur la base de la détection ou de l'anticipation d'un conflit d'objectifs, le processus cognitif de hiérarchisation des priorités est déterminant pour la prise de décision et la planification des opérations à mettre en œuvre pour gérer la situation. A la lumière de ces premiers constats, ce thème de recherche peut déboucher sur des évolutions importantes des systèmes d'aide à la conduite (IHM et systèmes de représentation, documentation papier, etc.) des installations à risques.

MOTS-CLÉS : conflit d'objectifs, anticipation, prise de décision, environnement dynamique, hiérarchisation, sûreté de fonctionnement.

1 PROBLEMATIQUE ET DEFINITION

La résolution de conflits d'objectifs n'est pas une activité spécifique à la conduite d'installations industrielles à risques. Bien au contraire, nous devons chaque jour faire des choix entre différents paramètres ou besoins pouvant interférer entre eux (comme par exemple dans le cas de la conduite automobile, ou la gestion d'un budget familial). Dans la conduite de procédés industriels complexes, la satisfaction de ces paramètres ou «attributs de la sûreté de fonctionnement » (Laprie *et al*, 1997) revêt une importance particulière du fait des risques pour la sécurité des personnes et de l'environnement. Notre recherche s'intéresse aux activités mises en œuvre par les équipes de conduite de ces systèmes pour gérer ces situations de conflits d'objectifs et vise l'étude des mécanismes cognitifs centraux de la détection et de la résolution d'un conflit d'objectifs.

Un conflit d'objectifs se présente lorsque la nécessité de rétablir l'un des attributs de l'installation (fiabilité, disponibilité, sécurité, maintenabilité, sûreté nucléaire, ...) risque d'interférer sur l'état des autres et cela à court, moyen ou long terme. Ces conflits peuvent résulter d'une interférence entre plusieurs attributs (interférence des mesures à mettre en œuvre pour satisfaire la sûreté de l'installation, la sécurité des personnes, la disponibilité de la production, ...), ou s'inscrire dans le temps au sein du même attribut (interférence entre les mesures à mettre en œuvre pour résoudre la situation à court terme, moyen terme et long terme, Amaldi,1999).

* Equipe Facteurs Humains, BP34000, 13791 Aix en Provence Cedex 3

** Laboratoire Travail et Cognition, UMR CNRS 5551, Maison de la recherche, 31058 Toulouse Cédex01.

2 CADRE APPLICATIF : LE CONFLIT D'OBJECTIFS DANS LE NUCLEAIRE

Dans le cadre du nucléaire, la sûreté reste l'objectif majeur (évitement d'agressions majeures sur l'environnement), et elle prime sur les autres en cas de situation accidentelle. Il reste que dans certaines situations incidentelles limites, le respect de cet objectif peut entrer en concurrence avec la disponibilité de la fourniture d'énergie, la sécurité des personnes, la maintenabilité de l'installation, etc.

Ces conflits d'objectifs possèdent des variantes suivant les types de réacteurs. Dans le contexte d'un réacteur nucléaire embarqué (sous-marins nucléaires, porte-avions) la disponibilité de la propulsion peut être primordiale pour la survie de l'équipage et peut entrer en concurrence avec la sûreté nucléaire. Pour être tranché, le conflit doit être remonté au niveau de la sécurité du bâtiment.

Dans le contexte des réacteurs expérimentaux, ce conflit s'applique au maintien de la disponibilité de la production de neutrons, nécessaire à la réalisation d'expérimentations complexes et coûteuses. Enfin, dans les réacteurs de puissance, les problèmes de disponibilité et de régularité de la production prennent des ampleurs financières très conséquentes mais peuvent aussi mettre en danger la sécurité de biens ou de personnes dépendants de cette énergie.

Ces conflits « majeurs » entre attributs de la sûreté de fonctionnement donnent généralement lieu à des directives claires (privilégier la sûreté dans telle situation), ou sont prises en charge par des cellules de crise internes (lorsqu'ils sont à dynamique lente). Lorsque la dynamique est rapide ainsi que pour tous les conflits d'objectifs de moindre ampleur, la résolution dépend entièrement des opérateurs en charge de l'exploitation des systèmes à risques. Dans ces situations, le retour d'expérience actuel effectué auprès d'équipes de conduite de réacteurs nucléaires met en évidence un besoin accru d'aide à la gestion de ces situations de conflits d'objectifs.

3 RAISONNER DANS DES ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES : LA PRISE DE DECISION EN SITUATION NATURELLE

Le thème de la conduite en environnement dynamique propose une approche du raisonnement et de la résolution de problèmes dans une optique « naturelle », c'est à dire relative à des activités complexes soumises à des facteurs non contrôlés et évoluant dans le temps, comme on peut le rencontrer dans la conduite automobile, la régulation du trafic aérien ou encore la conduite d'une installation nucléaire. Les modèles de la prise de décision naturelle de Klein (Klein et al, 1993) font l'objet de recherches appliquées actives principalement aux Etats-Unis, notamment pour la défense : aide aux commandement, systèmes de défense tactiques, systèmes de surveillance aérienne, etc. Ils s'opposent de fait à l'approche plus traditionnelle du raisonnement en environnement statique (Tour de Hanoi ou utilisation d'un logiciel de bureautique) et répondent à l'inapplicabilité avérée de ces modèles de prise de décision au delà des situations de laboratoire statiques¹, ou des limitations des modèles normatifs de la prise de décision statistique.

La modélisation de la résolution de problème en termes de planification, de représentations mentales², de raisonnement (stratégique ou tactique) est grandement simplifiée dans le cas des environnements statiques puisque l'espace problème est beaucoup plus facile à circonscrire. Dans un environnement dynamique, le procédé évolue indépendamment des actions de l'opérateur, faisant de la non action une action. La surveillance de l'évolution des paramètres du procédé et de l'environnement permet d'anticiper des événements à prévenir ou corriger. Enfin, la prise de décision en situation naturelle intègre des aspects collectifs (co-action, travail coopératif, etc.) qu'il devient rapidement impossible à intégrer dans un modèle statique.

¹ Cependant de tels modèles paraissent garder leur validité dans les cas de résolution de problèmes propres aux situations intra conflictuelles (exemple d'interférences entre actions successives d'une procédure séquentielle).

² La conduite d'un système dynamique n'est pas un phénomène continu et homogène au niveau de la supervision des différents paramètres. Les opérateurs se font une représentation mentale du fonctionnement de l'installation qui diverge progressivement de l'état réel et qu'ils réactualisent lors d'un passage en revue des indicateurs. Les risques d'erreurs pour les opérateurs vont donc grandissant au fur et à mesure que l'écart entre la représentation mentale qu'ils ont de l'installation et l'état réel se creuse.

4 LA GESTION DES CONFLITS D'OBJECTIFS COMME MODULE AUTONOME DE L'ACTIVITE DE CONDUITE

4.1 Gérer les conflits d'objectifs : les grandes étapes

La gestion d'un conflit d'objectifs est normalement déclenchée par l'identification d'un conflit potentiel, déduit par l'opérateur à partir de son expertise et des informations qui lui sont fournies. Plus rarement, le conflit est directement signalé par l'interface de conduite (Papin & Guillermain, 2001). Toutefois, ce qui peut apparaître comme un conflit pour un opérateur « novice » ne le sera pas forcément pour un autre expérimenté, ce dernier pouvant, par anticipation, savoir qu'il y aura un rétablissement des paramètres perturbés de façon naturelle (Mariné & AL., 1988) ou connaissance de la procédure adéquate. Inversement, un opérateur expérimenté peut prévenir un conflit d'objectifs à long terme, qu'un novice aurait du gérer sur le moment. En cas d'échec de la détection par l'opérateur, la situation continue à dériver jusqu'à devenir irréversible et conduire, le cas échéant, à l'enclenchement d'automatismes de protection ramenant l'installation dans un état sûr mais non disponible.

L'activité de gestion de conflits d'objectifs entre attributs s'inscrit dans un cadre de conduite complexe qui implique tout d'abord que l'opérateur ait identifié un problème et réalisé un (ou plusieurs) diagnostic(s) de l'état du système et de son évolution. Sur la base de ce diagnostic, il lui faut alors anticiper les aggravations possibles de la situation à court, moyen et long terme et déduire les conséquences et la criticité des scénarios envisagés sur les principaux attributs concernés par l'application (productivité, sûreté etc.). Il doit faire cela en tenant compte des hiérarchies différentes de ces attributs pour la ou les fonctions impliquées par la situation (ex : extraction de chaleur, production de neutrons etc.). Il établit ensuite une priorité dans ces attributs sur la base d'un compromis entre les criticités en jeu et l'objectif temporel du rétablissement de la fonction du système (hiérarchisation des priorités), et il choisit ou élabore une procédure adaptée à l'atteinte de son objectif. Il exécute par la suite cette procédure et suit l'évolution du système jusqu'au rétablissement de la fonction en optimisant éventuellement l'atteinte des attributs initialement laissés de côté dans la stratégie qu'il a adoptée. (Guillermain, 1995 sur la base de Rasmussen, 1986). Dans cette description de l'activité de conduite, le conflit d'objectifs peut être traité préventivement par l'opérateur ou, en cas d'échec, se manifester lorsque l'exécution de la procédure (pour rétablir le paramètre) perturbe à court, moyen ou long terme d'autres paramètres.

Notre hypothèse de travail considère l'activité de gestion de conflits d'objectifs comme une activité autonome au sein de l'activité cognitive de conduite de procédé. Organisé sous la forme d'un module spécialisé autour de la hiérarchisation des priorités d'objectifs, ce module « dormant », car non sollicité en permanence, serait activé lorsque l'activité de conduite identifie un conflit d'objectifs potentiel. Le module s'active et prend alors le contrôle de l'activité en utilisant les ressources cognitives disponibles pour analyser et résoudre le conflit d'objectifs. Il faut garder à l'esprit que la vision que nous soutenons dans cette recherche est une première approche des processus cognitifs mis en jeu dans cette activité de résolution de conflit, et qu'elle sert essentiellement à délimiter le domaine d'étude. Par la suite elle évoluera en un modèle cognitif dont la validité psychologique sera étayée par des observations de l'activité réelle.

4.2 La gestion des conflits d'objectifs : module « dormant » de l'activité

Chacune des activités mises en œuvre dans la conduite du procédé peut mettre à jour un conflit d'objectifs potentiel ou avéré et activer ainsi l'activité de haut niveau consistant à traiter ce conflit d'objectifs (cf. figure 1). Cette prise en charge de l'identification d'un conflit d'objectifs par les différentes activités de conduite est étroitement dépendante des interfaces disponibles. Ainsi la présentation sur l'interface de conduite de courbes historiques présentant l'évolution des principaux paramètres peut permettre à l'opérateur d'exploiter au mieux ses capacités d'anticipation (activité « élémentaire » de l'activité de conduite). A défaut de courbes historiques le phénomène de la dérive lente est particulièrement délicat à détecter. Il a comme caractéristique de faire passer inaperçu la dégradation d'un paramètre (la différence de valeur entre l'état présent et l'état précédent apparaît comme non significative). Progressivement l'état évolue, de façon imperceptible pour l'opérateur, jusqu'à ce qu'une alarme ou un incident se déclare. Dans un pareil cas, il n'y aura pas eu

d'anticipation possible, et l'opérateur devra agir plus ou moins rapidement selon la gravité de la situation, le temps qu'il estime lui être imparti et les procédures à respecter en présence d'une telle situation. On se retrouve alors dans la configuration du modèle proposé par Hollnagel (1993) décrivant le type de conduite et le mode de contrôle (stratégique, tactique ou opportuniste) suivi par les opérateurs en fonction de la contrainte temporelle. Il peut ainsi extrapoler l'évolution future de son procédé et pressentir un conflit à venir (ex., utilisation par deux systèmes de la même ressource, approche d'un seuil d'enclenchement d'une sécurité préjudiciable à la disponibilité).

Réciproquement, le module de gestion du conflit peut à son tour mobiliser ces activités plus élémentaires en tant que ressources nécessaires pour traiter ce conflit (lancer une surveillance dédiée d'un paramètre clé, détecter toute anomalie infirmant ou confirmant le conflit).

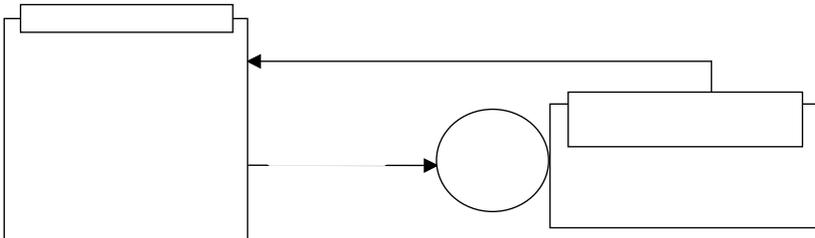


Figure 1 : Activation du « module » de Gestion des Conflits d'Objectifs au sein de l'activité de conduite. Activation du module par l'une des activités de conduite identifiant un conflit potentiel et mobilisation par le module de tout ou partie des activités cognitives afin de résoudre le conflit.

4.3 La gestion des conflits d'objectifs : module « actif » de l'activité

Comme nous l'avons vu, un conflit d'objectifs apparaît dès lors que l'opérateur détecte une dégradation d'un des attributs de la sûreté de fonctionnement, et que les actions à mettre en œuvre pour le ramener en fonctionnement nominal entrent en conflit avec d'autres attributs (à court, moyen ou long terme). Une fois activé, le module de gestion de conflit d'objectifs traite la situation en plusieurs étapes (voir figure 2). A chacune de ces étapes, des ressources cognitives plus élémentaires, précédemment dédiées à l'activité de conduite, peuvent être mobilisées par le module de gestion du conflit devenu actif.

L'identification d'un conflit potentiel active la gestion des conflits d'objectifs en commençant par une phase de vérification de l'existence effective du conflit, à travers une collecte et une analyse d'informations ①. Si le conflit est confirmé ②, l'activité se centre sur l'étape de hiérarchisation des priorités ③ visant la recherche d'un compromis optimal compte-tenu des ressources disponibles et du temps imparti, ou établissant une priorité des objectifs à satisfaire. La mise en œuvre de la stratégie de résolution ④ permet la planification et la réalisation de l'activité préventive ou correctrice. La validation des actions engagées et des anticipations réalisées (Boudes, 1997), ⑤ ainsi que la vérification de la résolution du conflit ⑥ permet à l'opérateur, en cas de succès, de se recentrer sur son activité de conduite courante ⑦ (le « module » de résolution de conflit redevient dormant).

4.4 La hiérarchisation des priorités : un élément central de la résolution de conflits

Rétablir une situation passe bien souvent par la nécessité de satisfaire en même temps plusieurs contraintes alors qu'il n'est possible d'en satisfaire qu'une à la fois. Il se présente alors, chez les opérateurs la nécessité d'opérer un choix. Cette prise de décision fait appel à une composante cognitive que nous estimons centrale dans le module cognitif de gestion des conflits d'objectifs : la hiérarchisation des priorités.

Cette capacité de hiérarchiser dépend étroitement des marges de manœuvre de l'opérateur (libertés et contraintes inhérentes aux procédures), de l'efficacité de ses processus permettant l'identification préventive du conflit (minimisant les contraintes temporelles) et du bilan qu'il réalise sur les ressources matérielles disponibles pour traiter ce conflit.

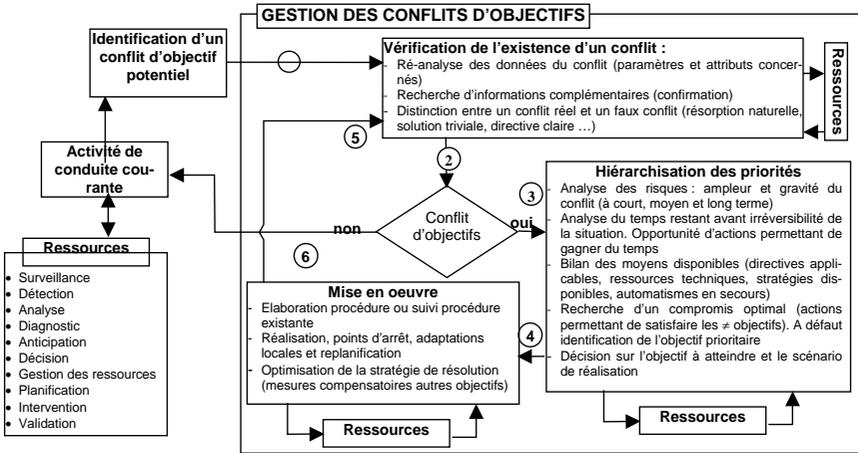


Figure 2 : Etapes et mécanismes internes du module de gestion des conflits d'objectifs

Les causes principales des erreurs de hiérarchisation peuvent provenir en premier lieu d'une mauvaise anticipation des conséquences de la situation, mais aussi d'un manque d'expertise ou de connaissances (connaissances sur le procédé ou sur des situations analogues et la façon dont elles ont été résolues). Du point de vue des IHM, cela peut être un manque de présentation de critères de décision objectifs pour trancher un conflit entre attributs, ou un manque de visibilité sur la disponibilité des ressources matérielles. D'un point de vue organisationnel, cela peut être une absence complète de directives ou des directives ambiguës (priorité à la sûreté accompagnée d'une pression organisationnelle pour garantir la disponibilité).

Les opérateurs ont à prendre de nombreuses décisions dans des situations limites, souvent sous contrainte temporelle et sous stress (ex. : favoriser la disponibilité ou la sécurité-innocuité, dans une situation critique où rien ne favorise le choix de critère) (Guillemain, 1995). Une hiérarchisation des priorités et sa présentation auprès des opérateurs constituerait donc une aide fondamentale dans la gestion de conflits entre attributs concurrentiels (Rasmussen, 1986).

5 UN EXEMPLE DE DECLENCHEUR DE LA RESOLUTION D'UN CONFLIT D'OBJECTIF : LE CAS DE L'ANTICIPATION

Dans l'activité de conduite courante d'un procédé à risques, un conflit d'objectifs potentiel peut être déduit ou induit lors de la mise en œuvre des activités élémentaires de surveillance des paramètres, de diagnostic d'un incident, de problèmes lors d'une intervention. Dans ces cas, le module de gestion de conflits d'objectifs est généralement activé avec des contraintes temporelles fortes, l'opérateur doit prendre une décision rapide et ne peut peser toutes les conséquences de la situation pour hiérarchiser efficacement les objectifs à atteindre. Son expertise est largement sollicitée dans une prise de décision en situation d'urgence l'amenant à hiérarchiser de fait l'objectif prioritaire à satisfaire. Les conflits d'objectifs à moyen et long terme détectés par anticipation sont beaucoup plus confortables pour l'opérateur. Par l'anticipation de l'évolution des paramètres (dérive, approche de seuil, ...), de l'état du système (indisponibilité prévue d'un système de secours) ou l'anticipation de l'effet de ses actions sur le procédé, l'opérateur peut détecter un conflit d'objectifs potentiel tout en ayant le temps de le traiter en exploitant ses capacités d'analyse, de simulation mentale et de hiérarchisation.

Ainsi, dans la conduite d'un réacteur nucléaire de puissance, les opérateurs maîtrisent la réaction nucléaire par des barres de contrôle (qui limitent la réaction nucléaire lorsqu'on les plonge dans le réacteur). Lorsque ce moyen arrive en limite d'efficacité, ils peuvent être amenés (par consigne) à injecter un produit (bore) dans les circuits d'eau afin de contenir la réaction. Il faudra ensuite, pour revenir en fonctionnement nominal, évacuer une partie de cette eau borée dans un réservoir pour la remplacer par de l'eau claire. Or, ce réservoir n'est pas vidangé régulièrement, il peut alors s'avérer pratiquement plein et limiter les possibilités de manœuvres ultérieures (diminuer la concentration en bore pour relancer la réactivité) et par là même la productivité. Dans cet exemple simplifié, les opérateurs ayant intégré le niveau élevé du réservoir dans leur conduite pourront mettre en œuvre, avant qu'il ne soit trop tard, d'autres mesures préventives permettant de limiter la réaction tout en évitant la situation de conflit d'objectifs entre sûreté et productivité. Par opposition, les opérateurs qui n'ont pas intégré le niveau élevé du réservoir dans leur conduite perdent la possibilité d'utiliser ces mesures préventives et peuvent dépasser un seuil au delà duquel, par consigne, ils se retrouveront confrontés au conflit d'objectifs sans possibilité d'actions autres que curatives.

6 DISCUSSION / CONCLUSION

Ces premières réflexions sur la détection et la gestion des conflits d'objectifs permettent de positionner les différents concepts d'une problématique de fond dans la conduite des systèmes à risques. L'analyse de cette activité de haut niveau, au cœur de l'expertise des opérateurs et à laquelle nous conférons, dans notre hypothèse, une architecture cognitive modulaire qui s'active en cas de besoin, nous semble riche d'enseignements pour rechercher des aides efficaces destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement de ces installations. Aujourd'hui source d'erreurs (remontées par le retour d'expérience) et de réussites (transparentes au retour d'expérience) de la part des opérateurs, cette activité tend à être réduite par des procédures contraignantes ou l'introduction d'automatismes. L'analyse et la modélisation de cette activité, de ses capacités et limites, devrait permettre de rechercher des Interfaces Hommes-Machines soutenant cette activité et de mettre en évidence la plus-value apportée par les exploitants dans la satisfaction de ces objectifs de sûreté de fonctionnement. Si la hiérarchisation des priorités apparaît être fondamentale, comme nous l'avancions, son rôle sera à prendre en considération dans l'analyse des retours d'expérience comme dans la conception des systèmes d'aide à la conduite.

7 BIBLIOGRAPHIE

- Amaldi, P. (1999) *Le rôle d'un modèle du diagnostic dans l'évaluation d'un système d'aide à la décision dans le contrôle aérien : le cas d'ERATO*. Thèse, Université de Toulouse le Mirail.
- Boudes, N. (1997) *L'anticipation dans le contrôle des environnements dynamiques*. Université de Toulouse-le-Mirail.
- Guillermain, H. (1995), *Sûreté de fonctionnement des systèmes socio-techniques, Prise en compte des facteurs humains*, Document interne TECHNICATOME.
- Hollnagel E. (1993), Models of cognition : procedural prototype and conceptual models, *Le travail humain*, 56, 1, 27-52.
- Klein G., Orasanu J., Calderwood R. [eds] (1993), *Decision Making in Action : Models and Methods*, Norwood New Jersey : ABLEX
- Laprie, J.-C., Arlat, J., Blanquart, J.-P., Costes, A., Crouzet, Y., Deswarte, Fabre, J.-C., Guillermain, H., Kaâniche, M., Kanoun, K., Mazet, C., Powell, D., Rabléjac, C., Thévenod, P. (1997), *Guide de la sûreté de fonctionnement*, CEPADUES Ed., Toulouse.
- Rasmussen, J. (1986), *Information processing and human machine interaction : an approach to cognitive engineering*. Amsterdam : North Holland.
- Marine, C., Cellier, J.M., Valax, M.F. (1988). *Dimension de l'expertise dans une tâche de régulation de trafic. Règles de traitement et profondeur du champ spatio-temporel*. Psychologie Française, 33, 3, 151-160.
- Papin, B., & Guillermain, H. (2001). *Conduite des processus à risques : approche par fonctions et aide à la gestion des conflits d'objectifs*. Soumis pour publication.

Gestion de la dimension temporelle : raisonnement explicite et ajustement implicite

Ophélie Carreras

Laboratoire Travail & Cognition UMR 5551 CNRS-UTM
Maison de la Recherche, 5 Allées Antonio Machafo,
31058 Toulouse Cedex 1
e-mail : carreras@univ-tlse2.fr

RÉSUMÉ

Cette communication se situe dans le cadre de la gestion des situations dynamiques. Elle a pour objectif d'examiner les modalités de gestion de cette dimension temporelle. Nous évoquons ici, dans une première partie, l'existence de représentations temporelles utilisées pour situer les événements et les actions aussi bien dans le passé (reconstruction de la chronologie), le présent (orientation temporelle), que le futur (anticipation). Dans un second temps, nous évoquons le problème des évolutions, c'est-à-dire de la dynamique propre des événements, en posant la question de leur représentation, et des possibilités d'ajustement implicite à cette dynamique. Concernant ce dernier aspect, nous évoquons la possibilité d'appliquer des modèles 'dynamiques', issus notamment de travaux sur le mouvement, pour expliquer comment cet ajustement implicite peut s'effectuer.

MOTS-CLÉS

ajustement, durée, évolution, dynamique, représentation.

1 INTRODUCTION

Nous sommes en permanence immergés dans un environnement changeant. L'aspect dynamique de l'environnement est en effet présent dans quasiment toutes les activités humaines. En cela, il semble particulièrement pertinent de s'intéresser aux modalités de gestion de cette dynamique. Si notre vie quotidienne offre tous les jours des exemples de la capacité humaine à gérer cette dynamique (la conduite automobile par exemple), on peut également observer des dysfonctionnements dans cette gestion temporelle. Dans certaines situations de travail, particulièrement empreintes de cette dimension, on peut trouver des exemples d'erreurs temporelles (De Keyser, 1996). Les erreurs en situations médicales, telles que l'anesthésie ou le diagnostic d'urgence par exemple, sont bien entendu des facteurs de risques importants lorsqu'il s'agit de la vie des patients. Il est également évident que les exigences de gestion temporelle dans ces environnements sont très fortes, et on pourrait presque s'étonner, vu la complexité de ces situations, que les erreurs ne soient pas plus fréquentes...

L'objectif de cette communication est d'examiner les modalités de gestion de la dimension temporelle des situations, et de tenter d'apporter des réponses possibles aux questions qui restent soulevées à l'heure actuelle. Dans une première partie, nous évoquerons les représentations temporelles et leur utilisation dans l'anticipation et la reconstruction du passé. Ensuite, nous parlerons du problème des évolutions, de leur représentation, et de l'ajustement à la dynamique.

2 REPRESENTATIONS TEMPORELLES

Les représentations externes, ou conventionnelles, du temps sont multiples (Friedman, 1990) ; et si nous sommes capables de "manipuler" mentalement le temps, c'est parce que nous construisons des représentations, des modèles mentaux, de structures temporelles.

Décrire le temps externe de façon "objective" est une entreprise malaisée. Les principales caractéristiques que l'on peut en retenir sont les concepts de *succession*, de *simultanéité*, de *durée*, de *périodicité* et de *continuité*. Nous verrons que les représentations de structures temporelles prennent

en compte les premiers concepts, et que le dernier renvoie davantage à l'aspect strictement dynamique. Cette distinction ne doit pas amener à considérer que ces aspects sont complètement dissociables, on peut même remarquer qu'ils cristallisent parfois des oppositions dans les différentes conceptions du temps (par exemple continuité vs succession). Néanmoins, ils nous semblent être différents aspects du temps nécessaires à prendre en compte dans l'activité.

Les représentations de structures temporelles peuvent être considérées comme des cadres emboîtés à différentes échelles. Les travaux sur la récupération et la datation d'événements passés montrent l'utilisation de ce type de représentation (Lieury, Aiello, Lepreux, & Mellet, 1980 ; Robinson, 1986). Ces " patterns " de temps (Friedman, 1993) sont structurés par des périodes de temps dévolues à des activités particulières et par des événements repères, positionnés, datés, dans le cadre de référence. C'est surtout la périodicité des événements qui semble permettre la construction de ce type de représentations. En effet, la répétition périodique de certains événements, ou d'actions, permet la constitution d'une structure, et la détermination de périodes, ou de moments spécifiques pour ces événements particuliers. Il en est ainsi par exemple des jours de semaine dédiés prioritairement au travail et des jours de week-end aux loisirs, ou à la vie familiale...

Des travaux francophones, menés en situation réelle de travail ont également montré l'utilisation de ces structures temporelles pour l'anticipation et la synchronisation des actions à la temporalité de l'environnement -le cadre temporel (Valax, 1986) ; les Systèmes de Références Temporelles (Javaux, Grosjean, & Van Daele, 1991)-.

Des cadres temporels spécifiques peuvent ainsi être utilisés dans la gestion du passé (resituer les événements dans le temps) ainsi que du futur (anticiper les événements ou les actions à réaliser). Il semble également que ce type de représentation soit utilisé pour l'orientation au présent (e.g. Koriat, Fischhoff, & Razel, 1976 ; Valax, Tremblay, & Sarocchi, 1996), et pour synchroniser ses actions à différentes temporalités (Carreras, Valax, & Cellier, 1999 ; De Keyser & Nyssen, 1993). Ces structures sont à considérer comme stables, et permettant de positionner des événements ou des actions, en cela, elles ne prennent pas en compte le caractère continu de l'écoulement du temps, c'est-à-dire l'évolution autonome (indépendante de nos actions) des éléments présents dans l'environnement.

3 TRAITEMENT DES EVOLUTIONS

La façon dont on parvient à se représenter, ou à s'adapter aux évolutions des événements reste une question relativement ouverte. Rares sont les études se focalisant sur cet aspect, tout au moins dans le champ de la psychologie cognitive ou du travail. Il existe quelques études sur micromonde, montrant par exemple que les évolutions exponentielles sont difficiles à anticiper (Dörner, 1987). Dans la situation d'anesthésie, il est évident qu'il est nécessaire de connaître les différentes évolutions des drogues pour savoir à quel moment les injecter, à quel moment elles feront effet, et à quel moment elles n'auront plus d'effet. Les patients réveillés sur la table d'opération ne sont malheureusement pas rares et montrent la difficulté à gérer ces évolutions (De Keyser, 1996).

Il semble donc que les évolutions posent difficulté tout au moins lorsqu'il s'agit de les prendre en compte explicitement dans un raisonnement. Néanmoins, l'idée d'une adaptation implicite à la dynamique de l'environnement est souvent évoquée (e.g. Michon, 1990), même si cet aspect reste très difficile à étudier concrètement. Hoc (1996a) pose également la question de la nécessité de traitements temporels explicites dans une situation de conduite de haut fourneau. On peut donc envisager la gestion des évolutions à deux niveaux : explicite, en termes de connaissances et représentations, et implicite, en termes d'ajustement.

3.1. Représentations des évolutions

La représentation explicite des évolutions peut être considérée comme faisant partie de la représentation de la structure temporelle de l'environnement. Néanmoins, on peut se poser la question de la construction de connaissances sur les évolutions et de leur format. En effet, pour construire des connaissances sur les évolutions, il est rare que l'on puisse avoir une information en continu. La plupart du temps, les informations sont disponibles sur des états à différents moments. La question peut alors devenir : comment, à partir d'informations sur des états, peut-on construire une connaissance de la dynamique, autrement dit, ces connaissances sont-elles réellement des

connaissances en termes de dynamique ou bien sont elles plutôt à considérer comme qualitatives (par exemple, ça va plus ou moins vite -en relation avec d'autres éléments-, ou bien, ça va vite au début, et puis ça ralenti, ou ça augmente de plus en plus, c'est très lent, etc...) ?

Ici encore, à notre connaissance, peu d'études se sont focalisées sur cette dimension. Hoc (1996b) propose différentes formes possibles de représentation des évolutions : des états à partir desquels il existe des tendances d'évolution, des courbes d'évolution, ou des configurations d'évolution de variables. L'auteur remarque néanmoins que l'on sait encore peu de choses sur ces formes de représentations "dynamiques".

Dans le contrôle d'un micromonde dynamique (Carreras, 1999), où les sujets devaient gérer différents processus, à évolution et durée variable, de façon parallèle et non synchronisée ; il semble que les sujets utilisent des informations relatives sur les durées, de type qualitatives (plus long - plus court). Ceci est repérable dans les verbalisations consécutives. Des estimations de durées demandées après la tâche, montrent également que ces dernières sont largement sous-estimées, mais que les durées relatives sont à peu près respectées (en termes de proportion). Bien entendu, la durée n'est pas l'évolution, mais l'évolution s'inscrit dans la durée. Dans l'expérience précédemment citée, la tâche des sujets ne nécessitait pas de prendre en compte les évolutions différentielles des processus, ainsi, l'élément fonctionnel pour la tâche était surtout la durée. On peut penser que de la même façon, lorsqu'il est nécessaire de prendre en compte une évolution dans un raisonnement (par exemple dans la planification ou la décision explicite du moment d'une action), cette évolution est représentée en termes qualitatifs. Néanmoins, il reste à tester empiriquement la validité de cette hypothèse. Une première façon d'avoir des informations sur la plausibilité d'une telle hypothèse, serait de demander à des opérateurs comment ils utilisent les évolutions dans le raisonnement (celui-ci étant explicite, il peut être verbalisé), et peut-être éventuellement leur demander de représenter concrètement ces évolutions. Une deuxième étape serait alors bien entendu nécessaire pour une réelle validation.

Ce que nous venons d'évoquer renvoie donc à l'aspect explicite de prise en compte des évolutions. Néanmoins, dans certains cas, l'ajustement de l'action à la dynamique de l'environnement semble s'effectuer de façon implicite, tout au moins sans nécessiter de raisonnement. C'est ce point que nous allons à présent évoquer.

3.2. Ajustement à la dynamique

De nombreuses études, chez le jeune enfant (e.g. Droit, 1995 ; Pouthas & Jacquet, 1983), ou chez l'animal (Richelle & Lejeune, 1980), montrent que l'adaptation des actions à la temporalité de l'environnement peut parfaitement s'effectuer en dehors de tout raisonnement explicite. Cela semble évident pour les animaux, et les jeunes enfants ne possèdent pas encore la maîtrise du langage, et/ou confondent encore les relations de durée, de distance et de vitesse (Crépault, 1989 ; Piaget, 1946). Les enfants sont capables de réguler temporellement leur comportement à la structure temporelle de l'environnement, et cette régulation ne peut s'expliquer par la mise en œuvre d'un raisonnement formel.

Cet ajustement implicite dont parle Michon (1990), serait "cognitivement impénétrable" et ne serait donc pas sous-tendu par une représentation conceptuelle. De ce fait, il peut être également difficilement verbalisable, et c'est peut-être ce que traduisent les verbalisations de certains opérateurs, lorsqu'ils disent agir "au feeling" (Crossman, Cooke, & Beishon, 1974). De la même façon, plusieurs études montrent des différences entre la maîtrise de la situation en temps réel et des évaluations temporelles explicites -voir (Boudes, 1996 ; Lories, Dubois, & Gaussin, 1997) pour l'anticipation par exemple-.

Ces différents exemples montrent donc l'existence d'un ajustement implicite à la dynamique, le problème de l'explication de ce mécanisme, quant à lui, reste entier.

Il semble néanmoins que certains modèles, dans le cadre de la perception de séquences musicales ou du contrôle du mouvement, offrent des pistes de réponse.

Le modèle de l'attention dynamique (Large & Jones, 1999) a été développé dans le cadre de la perception de séquences musicales. Selon ce modèle, l'attention est un processus cyclique, oscillatoire. Les cycles d'attention, de périodes variables, s'adaptent à la structure temporelle de l'environnement. Ainsi, quand un sujet doit interagir avec un environnement temporellement structuré, il cherche spontanément à syntoniser la période des oscillations de l'attention avec la période des événements. Pour une oscillation donnée, autour du pic d'attention se situe une zone

d'attente de l'événement cible dont la taille varie en fonction de l'occurrence effective de l'événement cible. Si l'événement survient dans la zone d'attente, cette dernière se restreint sur les oscillations suivantes, diminuant ainsi la charge globale d'attention. Inversement, si l'événement survient en dehors de la zone d'attente, cette zone s'élargit sur les oscillations suivantes afin de permettre l'ajustement des oscillations ultérieures aux modifications de la dynamique externe. Par ailleurs, sur une même unité de temps, plusieurs oscillations coexistent et s'harmonisent afin d'appréhender des structures temporelles complexes, à plusieurs niveaux d'emboîtement.

Ce type de modèle peut être considéré comme appartenant à une approche dite "dynamique" qui considère l'individu humain comme étant lui-même un système dynamique (Kelso, 1992 ; Pressing, 1999 ; van Gelder, 1998). Selon cette approche, l'interaction entre les deux systèmes dynamiques que sont l'individu et l'environnement, va se traduire par un *couplage* entre les deux systèmes. Ainsi, il y aurait une sorte de syntonisation, de mise en phase des deux systèmes. Cette mise en phase serait effectuée par le moyen d'un *attracteur* (qui peut être interne ou externe à l'individu) permettant aux deux systèmes dynamiques de se synchroniser. Des modèles relevant de cette approche sont utilisés pour expliquer notamment la coordination des mouvements (par exemple le jonglage, Beek & Turvey, 1992). En effet, dans le cadre de la motricité, ces modèles sont de plus en plus largement utilisés. On peut noter ici que cette idée de couplage entre perception et action se retrouve chez Gibson dans le terme d'affordance (Gibson, 1979).

Ces approches se démarquent des approches computationnelles dans la mesure où les modèles sont basés sur l'idée qu'il n'est pas nécessaire que le comportement soit régulé par un mécanisme central pour être régulier. Les théories générales qui postulent cela sont les théories de l'auto-organisation. Ces dernières tentent de répondre à une question, également centrale pour ce qui nous concerne : "comment des systèmes complexes, c'est-à-dire composés d'un nombre pratiquement infini d'éléments en interaction, peuvent-ils démontrer des comportements stables et organisés face aux contraintes variées et variables qui s'exercent sur eux ?" -(Zanone, 1999), p. 4-. Ces théories s'attaquent donc au problème de la réduction des degrés de liberté, et donc de la complexité.

Sans ignorer, bien évidemment, les aspects explicites du traitement du temps qui sont mis en œuvre en permanence, pour décider du moment des actions, pour anticiper, situer les événements aussi bien dans le passé, le présent, que le futur, on peut se poser la question de savoir si les approches dynamiques ne sont pas à même de rendre compte de certains ajustements implicites à la dynamique des événements. Le modèle de l'attention dynamique, notamment, semble intéressant pour une tentative d'application à nos propres travaux. Ayant été testé sur des empanns relativement courts, on peut se poser la question de l'élargissement du modèle à des empanns temporels plus importants.

3.3. Tentative d'application du modèle de l'attention dynamique

Nous avons évoqué précédemment le fait que, pour construire des connaissances sur les évolutions des événements, il est nécessaire, la plupart du temps, de prendre des informations sur des états. On peut ici se poser la question de l'organisation de ces prises d'informations sur une variable en évolution. Des études dans le cadre de la mémoire prospective (réalisation des intentions différées) montrent que la répartition des prises d'informations au cours du temps n'est pas aléatoire. Ceci & Bronfenbrenner (1985) proposent l'hypothèse du calibrage temporel pour rendre compte de la répartition des prises d'information au cours du temps. Les prises d'information sont nombreuses au début de l'intervalle de temps considéré (étape de calibrage) puis diminuent au milieu de l'intervalle pour augmenter lorsque la fin est proche (la courbe est une courbe en U). Costermans & Desmette (1999) dans une tâche similaire de mémoire prospective montrent que les prises d'information semblent suivre une fonction exponentielle. Ces études, qui tentent de modéliser l'évolution des prises d'information au cours du temps, sont relativement rares et les résultats ne semblent pas convergents. Une autre question reste posée par les auteurs, celle de la conscience que peuvent avoir les sujets de cette régularité dans les prises d'information. Cette dernière interrogation renvoie donc à l'aspect implicite.

Dans le cadre du modèle de l'attention dynamique, il semble intéressant d'examiner les prises d'informations sur un processus en évolution comme possibles révélateurs d'une "dynamique interne". On peut en effet considérer que chaque prise d'information peut correspondre à un pic d'attention, ou à une zone d'attente, lorsque le sujet ne connaît pas l'évolution du processus, et on peut également

imaginer que ces prises d'informations se "calent" à l'évolution réelle du processus au fur et à mesure que la connaissance de son évolution augmente.

Dans cet objectif, nous ré-analisons actuellement les résultats d'une expérience réalisée dans le cadre de la thèse -(Carreras, 1999), expérience 2-. L'examen se porte sur l'évolution des prises d'information effectuées par les sujets sur différents processus ayant des dynamiques différentes. 4 conditions ont en effet été testées : une évolution linéaire, une évolution en escalier (une succession de sauts et de paliers), une évolution selon une fonction puissance (évolution lente au début et plus rapide à la fin) et enfin, une évolution selon une fonction racine (évolution rapide au début et de plus en plus lente jusqu'à la fin). 40 sujets naïfs (afin d'étudier l'apprentissage) ont participé à l'expérience. L'habillage de la tâche est celui d'un processus de production d'eau potable. Les sujets devaient faire passer une masse d'eau dans différentes cuves représentées sur une ligne de traitement. L'eau doit subir différents traitements (dont la durée et l'évolution varient) avant d'arriver en fin de ligne et être "propre à la consommation". Pour savoir où en est une opération particulière, les sujets doivent activer une image écran sur laquelle figure un pourcentage de réalisation de l'opération en cours. Les sujets ont pour consigne d'activer le moins souvent possible cette image qui ne reste active que pendant 5 secondes. Les sujets effectuent l'exercice deux fois de suite (deux passages).

Les résultats sur la répartition des prises d'informations au cours du temps montrent en général une succession de pics et de creux, plus ou moins réguliers selon le type d'évolution et l'apprentissage (comparaison entre les deux passages). Pour les conditions linéaire et en escalier, la régularité est plus marquée au second passage. Par contre, la condition "fonction racine" entraîne de plus nombreuses prises d'informations et une moindre régularité, quel que soit le passage. De façon générale, les courbes oscillent, plus ou moins régulièrement. S'il est évident qu'on ne peut rien valider sur ces résultats descriptifs, on peut se poser la question du fait qu'ils traduisent peut-être des oscillations périodiques dans la prise d'information. Ainsi, il semble intéressant de mettre en œuvre des études empiriques précises, permettant d'apporter des arguments à l'idée de l'importance d'une syntonisation de rythmes pour la gestion du temps.

4 CONCLUSION

Cette communication se proposait de discuter des modalités de gestion de la dynamique des situations. Nous avons évoqué en premier lieu l'utilisation de représentations temporelles dans le raisonnement explicite (planification, anticipation, récupération de souvenirs). Ces représentations sont utilisées pour la gestion d'un "temps statique" (passé ou futur) et sur des emplans relativement larges. Néanmoins, il est également nécessaire de prendre en compte la dynamique, le temps qui passe de façon continue. Il nous semble que l'idée de syntonisation de rythmes internes aux rythmes externes, déjà évoquée par Michon (1990), soit importante à considérer pour cet ajustement à la dynamique. Nous avons évoqué le modèle de Large & Jones (1999) basé sur l'idée d'une oscillation de l'attention. D'autres travaux, par exemple sur l'orientation temporelle (Shanon, 1979), permettent également d'envisager la possibilité d'utilisation d'autres rythmes, notamment celui de l'activation des connaissances ou des rythmes d'actions (Valax et al., 1996 ; Valax, 1999).

Le travail présenté ici s'intéresse à l'activité de gestion du temps, aux représentations susceptibles de soutenir cette activité et aux mécanismes psychologiques mis en œuvre, mécanismes sur lesquels on sait encore relativement peu de choses. Il est clair que cette recherche porte sur des mécanismes cognitifs spécifiques et isolés, et ne permet en aucun cas d'effectuer des recommandations directes relativement aux situations de gestion d'environnement dynamique. Néanmoins, il nous semble que ce type d'étude peut s'avérer utile pour les ergonomes, dans la mesure où elle vise à mieux comprendre les processus complexes mis en œuvre dans la gestion de la dynamique. Nous avons évoqué précédemment l'observation d'erreurs temporelles dans les situations de travail, mieux comprendre les mécanismes susceptibles d'être à l'origine de ces erreurs temporelles peut, à terme, permettre de contribuer à la conception d'aides, de dispositifs de présentation de l'information, ou de programmes de formation.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Beek, P. J., & Turvey, M. T. (1992). Temporal Patterning in Cascade Juggling. *Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 934-947.
- Boudes, N. (1996). Les connaissances temporelles : voies d'analyse dans le contrôle aérien. In J. M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 181-199). Paris : PUF.
- Carreras, O. (1999). *Représentation temporelle et ajustement de l'action à la dynamique de l'environnement*. Thèse, Université de Toulouse le Mirail.
- Carreras, O., Valax, M.-F., & Cellier, J.-M. (1999). Réduction de la complexité temporelle dans le contrôle d'un micro-monde dynamique. *Le Travail Humain*, 62(4), 327-342.
- Ceci, S. J., & Bronfenbrenner, U. (1985). "Don't Forget to Take the Cupcakes out of the Oven": Prospective Memory, Strategic Time-Monitoring, and Context. *Child development*, 56, 152-164.
- Costermans, J., & Desmette, D. (1999). A method for describing time-monitoring strategies in a prospective memory setting. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 18(3), 289-306.
- Crépault, J. (1989). *Temps et raisonnement, développement de l'enfant à l'adulte*. Lille : Presses Universitaires de Lille.
- Crossman, E. R. F. W., Cooke, J. E., & Beishon, R. J. (1974). Visual attention and the sampling of displayed information in process control. In E. Edwards & F. P. Lees (Eds.), *The human operator in process control* (pp. 25-50). London: Taylor & Francis.
- De Keyser, V. (1996). Les erreurs temporelles et les aides techniques. In J. M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques* (pp. 287-309). Paris: PUF.
- De Keyser, V., & Nyssen, A. S. (1993). Les erreurs humaines en anesthésie. *Le Travail Humain*, 56(2-3), 243-266.
- Dörner, D. (1987). On the difficulties people have in dealing with complexity. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 97-109). Chichester, UK: Wiley.
- Droit, S. (1995). Learning by doing in 3- and 4^{1/2}-year-old children : adapting to time. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 14(3), 283-299.
- Friedman, W. J. (1990). *About time. Inventing the fourth dimension*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Friedman, W. J. (1993). Memory for the time of past events. *Psychological Bulletin*, 113(1), 44-66.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Hoc, J. M. (1996a). Effects of operator expertise and verbal reports on temporal data : supervision of a long time-lag process (blast furnace). *Ergonomics*, 39(6), 811-825.
- Hoc, J. M. (1996b). *Supervision et contrôle de processus. La cognition en situation dynamique*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.
- Javaux, D., Grosjean, V., & Van Daele, A. (1991). *Temporal reference systems : a particular heuristic extension to the classical notion of time*. Paper presented at the *Fourth Workshop of the ESPRIT MOHAWC project*, Bamberg, October.
- Kelso, J. A. S. (1992). Theoretical Concepts and Strategies for Understanding Perceptual-Motor Skill: From Information Capacity in Closed Systems to Self-Organization in Open, Nonequilibrium Systems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(3), 260-261.
- Koriat, A., Fischhoff, B., & Razel, O. (1976). An inquiry into the process of time orientation. *Acta Psychologica*, 40, 57-73.
- Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). The dynamics of Attending: How People Track Time-Varying Events. *Psychological Review*, 106(1), 119-159.

- Lieury, A., Aiello, B., Lepreux, D., & Mellet, M. (1980). Le rôle des repères dans la récupération et la datation des souvenirs. *L'Année Psychologique*, 80, 149-167.
- Lories, G., Dubois, M., & Gaussin, J. (1997). Judgmental forecasting and anticipation in human process control. *Le Travail Humain*, 60(1), 87-101.
- Michon, J. A. (1990). Implicit and explicit representations of time. In R. A. Block (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (pp. 37-58). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Piaget, J. (1946). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pouthas, V., & Jacquet, A. Y. (1983). Attente et adaptation à la durée chez l'enfant. *Cahiers de Psychologie Cognitive, Numéro spécial : La psychogenèse du temps : cinq approches*, 3(4), 397-407.
- Pressing, J. (1999). The Referential Dynamics of Cognition and Action. *Psychological Review*, 106(4), 714-747.
- Richelle, M., & Lejeune, H. (1980). *Time in animal Behavior*. London: Pergamon Press.
- Robinson, J. A. (1986). Temporal reference systems and autobiographical memory. In D. C. Rubin (Ed.), *Autobiographical Memory* (pp. 159-188). Cambridge: Cambridge University Press.
- Valax, M.-F. (1986). *Cadre temporel et planification des tâches quotidiennes. Etude de la structure des plans journaliers chez les agriculteurs*. Thèse, Université de Toulouse le Mirail.
- Valax, M.-F. (1999). *Le cadre temporel : une structure mnémonique pour l'organisation et la réalisation de l'action quotidienne*. Thèse d'habilitation, Université de Toulouse le Mirail.
- Valax, M. F., Tremblay, E., & Sarocchi, F. (1996). What month is it? The process of temporal orientation on a unit of the year scale. *Acta Psychologica*, 94, 309-317.
- van Gelder, T. (1998). The dynamic hypothesis in cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(5), 615-628.
- Zanone, P. G. (1999). Une approche écologique-dynamique de la coordination. In J. M. Albaret & R. Sompelsa (Eds.), *Précis de rééducation de la motricité manuelle*. Paris: Solal.

*Effet de redondance et effet de modalité réunis*¹

LE BOHEC Olivier & JAMET Eric
Laboratoire de psychologie expérimentale
CRPCC
Université rennes 2
6, avenue Gaston Berger
35043 Rennes
olivier.lebohec@uhb.fr eric.jamet@uhb.fr

RESUME

Cette recherche s'inscrit dans une perspective de psychologie ergonomique avec pour domaine visé celui des outils informatiques destinés à la formation. Plus précisément, nous nous intéressons aux didacticiels utilisant conjointement à la fois du texte et du son. Nous testions ici l'hypothèse, dans le cadre de la théorie de la charge cognitive, d'un effet négatif de la redondance d'informations multimodales sur les performances de compréhension-mémorisation d'un document pédagogique (Cf. Kalyuga, Chandler et Sweller, 1999). Nous testions également l'hypothèse d'un effet positif de la suppression des informations secondaires (Cf. Reder et Anderson, 1980 ;1982) Enfin, nous avons supposé un possible effet de désynchronisation lecture/audition ayant des répercussions négatives sur les performances dès lors que l'ensemble du texte est disponible pendant le déroulement de la bande son du document redondant. Les résultats ont contredit l'ensemble de nos hypothèses et sont discutés.

1 INTRODUCTION

Cette recherche s'inscrit dans une perspective de psychologie ergonomique avec pour domaine visé celui des outils informatiques destinés à la formation. Plus précisément, nous nous intéressons aux didacticiels utilisant à la fois du texte et du son. Ce type de document est relativement courant et, comme le précise Kaluyga (2000), la fréquence de son utilisation semble basée sur une idée reçue : deux modalités de présentation (visuel et auditive) valent mieux qu'une, dès lors qu'il s'agit de documents pédagogiques. Il existe pourtant des cas où une utilisation conjointe des deux médias semble ne pas constituer un avantage mais plutôt un défaut. Afin de mieux comprendre les effets négatifs de la redondance, nous allons présenter brièvement le cadre théorique dominant dans lequel nous nous situons, à savoir la théorie de la charge cognitive de John Sweller (Tricot, 1998 ; Sweller, 1999 pour une revue de questions), puis les différents résultats expérimentaux qui nous ont mené à mettre en place cette recherche.

La notion de charge cognitive repose sur la conception, dérivée de la théorie anglo-saxonne du traitement de l'information de la fin des années 70, selon laquelle l'homme fonctionne comme un canal de transmission et de traitement de l'information à capacité limitée. La théorie de la charge cognitive proposée par Sweller ne se distingue pas des théories classiques du système cognitif par son architecture mais plutôt par le rôle très important qu'y jouent les schémas. En effet, la modélisation théorique proposée par Sweller repose sur une architecture classiquement composée d'une mémoire de travail (jusqu'à récemment envisagée principalement en terme de maintien passif de l'information) et une mémoire à long terme (MLT) à capacité quasi-illimitée.

¹Cette étude a été effectuée dans le cadre d'une convention de recherches avec France Télécom Recherches et développement.

La notion de mémoire de travail à long terme proposée par Ericsson et Kintsch (1995) semble en fait bien proche de cette théorie proposée par Sweller, mais se différencie essentiellement par une meilleure formalisation du lien entre MDT et connaissances spécifiques en MLT - selon eux, la MDT fait partie intégrante de la MLT - (Cf. partie précédente) et par le refus des notions “ faiblement ” définies de schémas et de ressources cognitives (Barrouillet, 1996; p.333). En fait, si nous nous référons à la différenciation opérée par Barrouillet (1996) entre les deux principales métaphores utilisées à propos des ressources mentales, le modèle proposé par Sweller (et Chandler) correspond à une “ métaphore spatio-temporelle ” (la MDT y est conçue comme une structure de stockage (et de traitement) limité et temporaire), celui d'Ericsson et Kintsch (1995) relève quant à lui de la métaphore énergétique (la MDT y est vue comme “ la partie active de la MDT, cette activation étant limitée par une quantité limitée d'énergie ” (Tricot & Chanquoy, 1996; p.315)).

Pour Sweller et ses collègues, les différences interindividuelles concernant le niveau d'habileté intellectuelle ne trouvent pas leur source dans l'efficacité de la mémoire de travail, à cause de sa capacité limitée, mais dans la mémoire à long terme via les schémas, grâce à la quantité quasi-illimitée d'informations qu'elle peut contenir.

L'activité principale que l'on doit donc chercher à favoriser chez les novices est la hiérarchisation pertinente des informations afin d'optimiser de façon prioritaire la mémorisation des unités les plus utiles à un haut niveau d'intégration du texte. L'efficacité de cette activité de structuration des informations étant lié aux connaissances préalables, il convient de soulager la charge mentale des novices, moins efficaces de ce point de vue, soit en mettant en avant les informations importantes (e.g. Lorch & lorch, 1995 ; 1996), soit en éliminant les informations secondaires, superflues ou redondantes (e.g. Reder & Anderson, 1980 ; Sweller, 1999). Cet effet positif de la suppression des informations inutiles est appelé effet de redondance. Comme le font remarquer Yeung, Jin et Sweller (1997; p.18), l'effet de redondance semble avoir été “ découvert, oublié, et redécouvert chaque décennie ou presque, et cela depuis les années 1930 ”. Sweller et Chandler (1994; p.193) nous rappellent quelles furent les grandes périodes de cette mise en évidence. Cet effet a été observé une première fois par W. Miller (1937) avec de jeunes enfants qui devaient apprendre à lire des noms associés avec des images redondantes.

Les travaux de Reder et Anderson (1980, 1982) ont également démontré que des étudiants apprenaient plus à partir de résumés de texte issus de chapitres de manuels qu'à partir des chapitres entiers. Schooler and Engstler (1990) ont, quant à eux, observé une baisse de performances lorsque les sujets ont à verbaliser les stimuli visuels.

Selon Yeung, Jin et Sweller (1997; p.18), il existerait actuellement un formidable regain d'intérêt pour cet effet. En témoignent, par exemple, Mayer, Bove, Bryman, Mars et Tapangco (1996) qui répliquèrent un résultat analogue à ceux de Reder et Anderson (1980,1982). L'effet de redondance va particulièrement nous intéresser dans le cadre d'une présentation multimédia ou plus exactement bimodale (auditive et visuelle). Lorsque nous sommes confrontés à deux modalités de présentation de l'information différentes, il semble possible de définir deux types de cas pour lesquels un effet de la redondance est probable :

Premier cas possible : Les sources d'informations sont compréhensibles isolément car l'une des deux sources (ou les deux) renvoie à des connaissances antérieures des personnes. Par exemple, lorsque Yeung, Jin et Sweller (1997) montrent que des sujets experts peuvent trouver des définitions de concepts redondantes et donc gênantes, alors que ces mêmes définitions facilitent le traitement du texte pour des lecteurs davantage novices, ils mettent en évidence selon nous ce premier cas de figure.

Deuxième cas possible : Les sources d'informations sont compréhensibles isolément car l'une et l'autre, même si elles ne renvoient pas à des connaissances antérieures des personnes, correspondent à un même pattern d'informations, qu'elles soient ou non présentées de façon différentes. Ce cas de figure a été par exemple montré par Chandler et Sweller (1991). Ceux-ci mirent en avant une augmentation des performances grâce à l'élimination du texte servant à décrire le contenu d'un graphique. C'est ce cas précis qu'ils baptisèrent effet de redondance. Selon nous, dans ce type de situation, le niveau d'expertise des sujets est moins en cause que dans le premier cas de figure.

Peux-t-on retrouver ce second cas de figure lorsqu'il s'agit non plus d'un schéma compréhensible par des novices accompagné d'une légende redondante - donc inutile - mais d'un texte pédagogique écrit

accompagné d'un enregistrement sonore parfaitement idoine ? La théorie de la charge cognitive a donné lieu à une série de travaux portant sur l'intérêt d'utiliser conjointement les deux modalités sonores et visuelles, appelé effet de modalité.

Il semble que nous possédions au moins deux types de mémoire de travail (e.g. la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial de Baddeley, 1993) capables de travailler en parallèle. C'est ce qu'ont démontré Mousavi, Low et Sweller (1995) en comparant les performances d'étudiants à qui l'on présente des documents de géométrie soit de façon bi-modale (graphique à l'écrit et explications à l'oral) soit de façon unimodale (graphique et explications à l'écrit). Au travers de plusieurs expériences, ils observèrent de façon consistante une performance supérieure avec la présentation bi-modale. Ce type de résultat a par exemple été répliqué par Jeung, Chandler et Sweller (1997). Mayer et Moreno (1998) ont également démontré la supériorité des présentations audio-visuelles. Il faut préciser que les deux sources d'informations sont dans ces études mutuellement référencées sans, pour autant, être redondantes, c'est-à-dire qu'elles ne renvoient pas exactement au même pattern d'informations. Plus précisément, comme le rappelle Kalyuga (2000 ; p.162) la supériorité d'une présentation audio-visuelle sur une présentation simplement visuelle n'apparaît que dans le cas de figure où deux parties (ou davantage) d'une présentation purement visuelle sont incompréhensibles isolément et nécessitent d'être intégrées pour pouvoir être comprises.

Cet effet de modalité n'a par contre pas été observé dès lors qu'il s'agit d'informations compréhensibles isolément. L'étude de Kalyuga, Chandler et Sweller (1999) illustre ce point. Ces auteurs comparaient trois types de formats : 1) un graphique accompagné d'un texte présenté visuellement, 2) un graphique accompagné du texte présenté auditivement et 3) un graphique accompagné du texte présenté conjointement sous forme orale et écrite. Les résultats indiquaient que l'ajout de l'écrit en plus de l'oral amoindrissait les performances. Il s'agit donc ici d'un effet de redondance correspondant au deuxième cas de figure évoqué plus haut.

2 HYPOTHESES

1 - Dans le cadre de cette étude, nous comparerons l'efficacité pédagogique d'un ditacticiel (portant sur les services offerts par le portail Voilà sur internet) dans sa forme écrite simple, et sous un format multimodal, c'est à dire avec l'ajout d'une bande son reprenant exactement le contenu du texte. Nous supposons un effet de redondance dû à une surcharge cognitive, c'est-à-dire de meilleures performances du format « texte simple » sur le format redondant « texte et oral » car ici les informations sont compréhensibles isolément.

2 - Le fait de présenter les mêmes informations sous deux formats différents permet d'envisager des formats intermédiaires entre l'unimodal et le bimodal totalement redondant : il vient rapidement à l'esprit la possibilité de proposer des formats intermédiaires où seule une partie des informations redondantes seraient présentées. Si nous nous souvenons des travaux de Reder et Anderson (1980, 1982) évoqués plus haut qui montraient un meilleur apprentissage à partir de résumés par rapport aux textes entiers, nous pouvons supposer qu'une présentation succincte (faisant office de résumé) des informations à l'écrit pourrait engendrer de meilleures performances.

Nous comparerons donc ici un format de présentation avec une totale redondance entre l'oral et l'écrit et un format où seul un résumé de ce qui est présenté oralement est proposé sous forme écrite. La quantité d'informations redondantes présentées à l'écrit constituera donc le deuxième facteur que nous manipulerons dans cette étude.

3- Enfin, nous nous intéresserons à un dernier aspect possible de la redondance qu'une présentation mixte (oral-écrit) pourrait autoriser. Si nous considérons le fait que la présentation orale du document implique une notion de rythme, de vitesse de présentation indépendante du rythme de traitement effectif de chaque individu, nous pouvons envisager la possibilité d'une désynchronisation entre ce qui est présenté à l'oral et ce qui est lu à l'écrit.

Nous pouvons donc supposer que les informations présentées à l'oral pourraient également être à l'origine d'un effet de redondance en surchargeant inutilement la mémoire de travail dès lors que le lecteur ne traite pas encore ou ne traite plus l'équivalent écrit de ce qui est présenté oralement.

Ici, l'hypothèse ne correspond pas à un effet négatif de la redondance via une obligation inutile de traiter deux fois la même chose en même temps mais via l'obligation de traiter des contenus différents au cours des mêmes cycles de traitement : ce qui reviendrait à une forme particulière d'attention divisée avec des contenus idoines mais traités de façon désynchronisée.

Pour vérifier cette hypothèse, nous comparerons un format de présentation qui autorise cette désynchronisation (plusieurs informations – services de Voilà – seront présentées à l'écran au cours de la présentation orale) avec un format qui l'autorise moins (seule l'information qui correspond effectivement à ce qui est présenté à l'oral sera présentée à l'écrit. Il ne sera donc pas possible dans ce cas de traiter simultanément des contenus informationnels totalement distincts).

3 PROCEDURE

3.1. Plan expérimental.

Afin de vérifier ces trois hypothèses, un croisement complet a été effectué entre les trois variables indépendantes à deux modalités qui correspondent respectivement 1) à la présence ou non d'une bande son redondante par rapport au document écrit, 2) à la présentation entière (présentation détaillée avec exemples) ou résumée du document à l'écrit et 3) à la présentation globale ou successive du document à l'écrit. Pour chaque format issu de la manipulation des 3 facteurs, un groupe expérimental a été constitué. A titre indicatif, un autre format a été rajouté : il correspond à un format contrôle, à savoir le document oral seul. Il était composé de 22 personnes. En tout, 212 personnes ont participé à cette étude.

3.2. Matériel.

Tous les participants ont disposé individuellement d'un ordinateur pour l'expérience. Les temps d'affichage des informations de l'expérience étaient lents et calqués sur le rythme de lecture de la personne qui a enregistré le document oral.

En ce qui concerne les animations, elles ont été réalisées avec Flash 5. Le texte, quant à lui, est rigoureusement identique à une partie du texte fourni par l'aide du portail Voilà.

Il était demandé aux participants d'être le plus attentif possible et de mémoriser le maximum d'information. Les participants avaient par ailleurs connaissance d'une évaluation à l'issue du document. Ce choix a été motivé par l'idée que la consigne devait simuler un contexte d'apprentissage face à un didacticiel nécessitant une implication minimum.

3.3 Participants.

Les participants étaient tous des étudiants inscrits à l'université de Rennes 2. La moyenne d'âge étant de 20 ans. Chaque groupe expérimental comportait en moyenne une vingtaine de personnes.

3.4 Evaluation des connaissances.

1- Le premier questionnaire correspondait à un rappel libre des noms de services du portail présentés.

2- Le deuxième questionnaire correspondait à un rappel indicé (il s'agissait ici de définir les services).

3- Le troisième questionnaire correspondait à un transfert de connaissance / compétence.

Des situations de recherche d'informations étaient proposées : il fallait indiquer le service qui paraissait le plus approprié.

En plus des définitions à fournir (deuxième questionnaire), les participants devaient mettre une croix devant les services qu'ils pensaient connaître sans jamais les avoir utilisés (sur le portail Voilà ou sur un autre portail concurrent). Ils devaient en mettre deux lorsqu'ils les avaient utilisés au moins une fois. Le nombre de croix devait nous servir à construire un indice de connaissances préalables afin de vérifier l'équivalence des différents groupes expérimentaux de ce point de vue.

4 RESULTATS.

Avant d'effectuer des comparaisons intergroupes, nous avons vérifié l'équivalence des groupes quant au niveau de connaissances préalables. La quantité de croix fournies a constitué un score de connaissances préalables pour chaque individu. Cet indice a été corrélé avec le score global pour chaque sujet quel que soit le groupe expérimental. La corrélation est de .33 ($p < .001$) entre l'indice de connaissances préalables et les performances de compréhension/ mémorisation des participants. Nous avons observé une bonne équivalence des groupes au niveau des pré-connaissances. Voici les différents résultats que nous avons obtenus :

1-L'ajout redondant du même texte à l'oral a eu ici un effet positif sur les performances globales et non négatif comme nous pouvions le supposer par exemple à partir de l'étude de Kalyuga, Chandler et Sweller (1999). ($F(1, 183) = 4,99$; $p < .05$)

2- Réduire la quantité d'informations ne semble pas ici améliorer les performances des individus. Ce résultat n'est également pas conforme aux attentes que nous avions formulées et ne corroborent pas les résultats classiques de Reder et Anderson (1980,1982). ($F(1, 183) = 1,42$; NS)

3- Le fait de présenter les informations écrites les unes après les autres a bien eu un effet facilitant sur les performances des individus. Cependant, les résultats statistiques indiquent qu'il ne s'agit pas d'un résultat conforme à nos attentes, en ce sens que nos hypothèses théoriques ne sont pas à même d'expliquer celui-ci.

L'effet positif dû à la successivité de la présentation des informations est simple, c'est-à-dire qu'il ne dépend pas de la présence d'informations redondantes à l'oral (nous supposons un effet d'interaction entre le premier et le troisième facteur). L'effet ne peut donc s'expliquer en termes de désynchronisation entre oral et écrit. ($F(1, 183) = 6,66$; $p < .05$)

En ce qui concerne le groupe contrôle (oral seul), le format oral seul est moins efficace que les formats écrits sans oral, ce qui est conforme aux résultats de la littérature (e.g. Furnham et Gunter, 1987 ; Gunter, Furnham et Gietsou, 1984). Etant donné l'effet positif de la redondance oral – écrit, le format oral seul se retrouve être de fait le format le moins performant de tous.

5 DISCUSSION.

Cherchons désormais à comprendre pourquoi nos trois hypothèses ont été chacune infirmées :

Premièrement, l'effet positif de la présentation orale simultanée semble pouvoir s'expliquer par la nature du matériel : en effet, le texte était composé de phrases relativement simples et courtes. Nous pouvons donc supposer que la charge cognitive (intrinsèque) occasionnée par celui-ci était faible et que par conséquent, le risque de surcharge dû à un mauvais format de présentation était très faible. Nous pouvons, au contraire, supposer que la présentation étant double, l'information était plus riche – sans l'être trop – et a engendré une trace mnésique plus forte.

L'absence d'effet en ce qui concerne la quantité d'informations semble pouvoir être expliqué par la simplicité et la quantité des informations fournies (texte court composé de phrases simples relativement indépendantes les unes des autres et ne nécessitant pas une tâche complexe d'intégration et de hiérarchisation des informations). Rappelons-nous que l'effet de redondance n'est censé être observé qu'en situation de surcharge cognitive. Nous pouvons remarquer cependant que nous ne sommes pas non plus dans la situation d'un effet plafond où toutes les personnes atteignent les scores maximum. Pour expliquer cette situation, il semble que nous pouvons davantage faire appel à un problème classique de mémorisation (interférence proactive et rétroactive) qu'à un problème d'intégration d'informations inter-reliées trop nombreuses à un moment donné – impliquant des problèmes de surcharge cognitive.

Enfin, en ce qui concerne 1) l'absence d'effet d'interaction entre la successivité de la présentation et la présence d'une information orale et 2) l'observation d'un effet simple du facteur successivité, il semble que la seule explication possible soit un allongement du temps de traitement. Nous pouvons en effet supposer qu'étant donné la forme très épurée du format successif, les participants aient eu

tendance à relire davantage les informations (à défaut d'autres stimuli visuels) et à davantage s'interroger sur le contenu sémantique de ce qu'ils lisaient. A l'inverse une présentation globale (toutes les informations à l'écran en même temps) aurait peut-être eu davantage pour conséquence une lecture continue, sans relecture impliquant une moindre profondeur de traitement et donc une trace mnésique plus fragile.

6 CONCLUSION.

Les résultats de cette étude concernant la présentation multimodale d'informations idoines et la quantité d'informations identiques nous ont particulièrement surpris dans un premier temps car ils ne sont pas conformes à nos attentes et semblent ne pas corroborer la littérature existante. Il semble toutefois que le champ de validité de ces résultats soit restreint aux documents techniques ou pédagogiques relativement simples

En effet, dans le cadre d'une étude menée en parallèle de celle-ci avec un document beaucoup plus complexe et plus long, les premiers résultats semblent être cette fois-ci conformes à nos hypothèses, c'est-à-dire d'une part un effet négatif sur les performances de la redondance entre l'oral et l'écrit et d'autre part un effet positif de la suppression d'informations superflues ou secondaires écrites lorsque la totalité du document est présenté parallèlement à l'oral. L'ensemble de ces résultats semble cohérent avec une analyse en terme d'effets de formats différents, voire opposés, en fonction du niveau de charge. Ces études méritent d'être affinées par exemple en prenant davantage en compte les caractéristiques des documents

6 BIBLIOGRAPHIE

Baddeley, A. D. (1993). La mémoire humaine : Théorie et Pratique, P.U.G.

Barrouillet, P. (1996). Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail: postulats, métaphores et modèles. *Psychologie Française*, 41, 4, 319-338.

Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.

Ericsson, K. A., Kintsch, R. T. (1995). Long term working memory, *Psychological Review*, 102, 211-245.

Furnham, A., et Gunter, B. (1987), Effects of time of day and medium of presentation on recall for violent and non-violent news, *applied Cognitive Psychology*, 1, 255-262.

Gunter, B., Furnham, A. & Gietsos, G. (1984). Memory for news as a function of the channel of communication. *Human Learning*, 3, 265-271.

Jeung, H., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. *Educational Psychology*, 17, 329-343.

Kalyuga, S. (2000). When using sound with a text or picture is not beneficial for learning. *Australian Journal of Educational Technology*, 16 (2), 161-172.
<http://cleo.murdoch.edu.au/ajet/ajet16/Kalyuga.html>

Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 351-371.

Lorch, R. F. Jr, Lorch, E. P. (1996), Effects of organizational signals on free recall of expository text. *Journal of Educational Psychology*, 1, 38-48.

Lorch, R. F. Jr, Lorch, E. P.- (1995), Effects of organizational signals on text-processing strategy. *Journal of Educational Psychology*,4, 537-544.

Mayer, R. , Bove, W.Bryman, A., Mars, R. & Tapangco, L. (1996). When less is more : meaningful learning from visual and verbal summaries of science textbook lessons. *Journal of Educational Psychology*. 88, 64-73.

Miller, W. (1937). The picture crutch in reading. *Elementary English Review*,14, 263-264.

Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing Cognitive Load by mixing Auditory and Visual Presentation Modes, *Journal of Educational Psychology*,87, 2, 319-334.

Reder, L. & Anderson, J.R. (1980). A comparison of texts and their summaries : Memorial consequences. *Journal of Verbal Learning and Verbal behaviour*, 19, 121-134.

Reder, L. & Anderson, J.R. (1982). Effects of spacing and embellishment on memory for main points of a text. *Memory and Cognition*, 10, 97-102.

Schooler, J-W., Engstler-Schooler, T-Y. (1990). Verbal overshadowing of visual memories : some things are better left unsaid, *Cognitive Psychology*,22, 36-71.

Sweller, J., (1999), *instructional design in technical areas*, Australian Education Review, 43.

Sweller, J., & Chandler, P., (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185-233.

Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller, *Revue de Psychologie de l'Education*, 1, 37-64.

Tricot, A., & Chanquoy, L. (1996). La charge mentale, « vertu dormitive » ou concept opérationnel ?, *Psychologie française*, 41,4, 313-318.

Yeung, A. S., Jin, P., & Sweller, J. (1997). Cognitive Load and Learner Expertise: Split-Attention and redundancy Effects in reading with Explanatory Notes. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 1-21.