

LA MAÎTRISE DES SITUATIONS DYNAMIQUES



René AMALBERTI
IMASSA, Département Sciences Cognitives
BP73, 91223, BRETIGNY SUR ORGE
Ramalberti@imassa.fr

Résumé : La maîtrise des situations est un terme rarement utilisé en psychologie ergonomique. La littérature l'évoque toujours indirectement, et toujours négativement, en parlant de défaillance et d'erreur. Cet article propose une clarification et une révision plus positive du concept, fondées sur une série de résultats récents obtenus en situations dynamiques à risques réels (situations de travail). L'article souligne l'importance de quatre notions clés dans la maîtrise de la situation: la notion de compétition entre deux types de supervisions : celle du processus physique et celle de la cognition, la notion de 'suffisance' dans l'activité intellectuelle, l'avantage d'une adaptation dynamique du contrôle, et l'importance de la métacognition. La maîtrise de la situation impose, pour une efficacité globale en situation critique, un frein dynamique sur l'utilisation des capacités cognitives mise en jeu afin de ne pas se perdre dans des optimums locaux au détriment d'un état satisfaisant global (au point que ce frein peut apparaître comme un biais). Les bases d'une théorie cognitive de maîtrise des risques, dite de sécurité écologique, sont proposées.

Abstract : The concept of cognitive situation management does not belong to usual Cognitive Ergonomics wording. When cited, the term is always associated to a negative thinking, related to errors and the loss the control. This paper proposes to clarify and positively revisit the concept, based on findings from recents field studies in industry at risks. The paper highlights the importance of four concepts in dynamic situation management: the competition between two types of supervisory controls : process control and cognition control, the cognitive concept of 'just enough', the advantage of a dynamic adaptation of cognitive control, and the importance of metacognition. The cognitive dynamic control of cognition tends to level down the maximum performance of isolated cognitive capacities (to avoid entering into local optimisation with poor or negative benefits for the overall performance). The bases of an ecological safety theory are proposed.

UN RADICAL CHANGEMENT DE PERSPECTIVE

Depuis près de vingt ans, la psychologie cognitive a fait de l'analyse des défaillances, des erreurs et de l'étude des opérateurs novices des modes d'accès privilégiés à la compréhension des mécanismes cognitifs complexes, notamment du contrôle cognitif (Dörner, 1989 ; Norman, 1988 ; Reason, 1990-traduction 1993). Le contrôle cognitif doit ici être compris comme toute activité de supervision, interne à la cognition, dont l'objectif est d'assurer et de vérifier le bon usage des capacités cognitives aussi bien en terme d'intensité, que d'ordonnement dans le temps, afin d'atteindre le ou les objectifs visés par le sujet.

Les apports de ce type de recherche ne sont plus à démontrer. Les théories sur le contrôle de l'attention, sur la décision, et sur les modes de contrôle cognitif, reposent sur le paradigme de la défaillance -ou du biais cognitif (voir par exemple les travaux historiques de Kahneman, Slovic et Tversky, 1982 sur les théories de la décision). Les catastrophes industrielles ont largement participé à cet engouement général pour l'étude des défaillances humaines.

Mais à force de se centrer sur les défaillances, des ambiguïtés durables se sont installées sur les modèles de l'opérateur. On a confondu erreur et accident, et on a diabolisé toute défaillance dans une quête d'optimalité d'un système cognitif assimilé au fonctionnement d'une machine. On a minimisé pendant vingt ans le rôle structurant de l'erreur dans la résolution de problème, pourtant évoqué dès les années 40 par les Gestaltistes (Duncker, 1945). On a aussi négligé l'accumulation de résultats démontrant que l'opérateur commet beaucoup d'erreurs, mais en récupère la plupart (voir par exemple les articles princeps d'Allwood, 1984 ; ou de Rizzo, Bagnara et Visciola, 1987) ; même l'ergonomie francophone, n'a pas essayé de réhabiliter l'homme comme facteur de fiabilité, à de rares exception près (Leplat et de Terssac, 1990).

Reason (1993) lui-même n'a pas restauré un visage positif de l'opérateur dans son premier livre sur l'erreur. Son argumentaire sur la rationalité limitée et les primitives cognitives vise à expliquer la « normalité » de la survenue de l'erreur, plus qu'elle ne cherche à en comprendre l'utilité. Quant à la démonstration de sécurité systémique, Reason a simplement déplacé la faute de l'opérateur de première ligne pour la faire peser sur les hommes responsables de la conception et de l'organisation¹.

Il a fallu attendre des temps plus favorables pour changer le mode de pensée dominante; le basculement est intervenu dans le milieu des années 90 avec l'augmentation des études de terrains en situations très complexes. Parallèlement, l'industrie s'est aperçue que le taux d'accident se mettait en plateau : l'optimisation des solutions de blocage des erreurs et d'encadrement de l'opérateur avait des limites (Amalberti, 1996).

Toutes les conditions étaient réunies pour une bascule théorique et pratique concernant les idées développées sur la fiabilité humaine.

En quelques années, le paysage de la recherche a changé, avec une révision profonde du concept d'optimalité du fonctionnement cognitif (mais qui n'a souvent fait que reprendre des théories pré-existantes négligées):

- L'optimalité cognitive ne doit plus se décliner en termes de recherche de fonctionnement à moindre déchet, et particulièrement de moindre déchet instantané (évitement de toute erreur et défaillance, temps de réponse minimal, compréhension maximale, récupération des

¹ Reason a infléchi récemment ce point de vue ; son dernier ouvrage de 1997 donne une place plus importante à l'utilité cognitive de l'erreur, et à la contribution à la sécurité des acteurs de première ligne

- défauts dès que détectés), une hypothèse pourtant dominante depuis des décades dans les protocoles expérimentaux, les consignes, et toutes les disciplines intéressées à la sécurité,
- Elle se décline plutôt en terme de compromis permettant une atteinte *dynamique* de l'objectif (mais on devrait dire « des » objectifs) avec une performance suffisante. Trois idées sont centrales dans cette révision théorique :
 - Celle de « suffisance », mais elle est souvent comprise- à tort- comme minimaliste (moindre coût cognitif) ; elle doit plutôt être comprise comme une réponse adaptée à l'environnement apportant une satisfaction subjective à celui qui fait le travail, compte tenu de ses buts, du contexte, et de ce qu'il sait faire. La notion de 'suffisance' est reconsidérée à chaque exécution, et n'est pas contradictoire avec une performance très élevée et un coût cognitif élevé.
 - Celle d'adaptation dynamique, avec des fluctuations importantes de performance dans le temps, mais finalement une réponse globale acceptable à l'échéance visée; le temps disponible et les échéances visées sont les unités sur lesquelles il faut juger la performance cognitive, et non le résultat à chaque instant de ce temps disponible avant que les échéances ne soient atteintes. Les erreurs s'avèrent n'être finalement que le prix à payer à un compromis bien contrôlé, et ne sont souvent que des variables secondaires dans la maîtrise de la situation.
 - Enfin celle de métacognition, qui permet de régler la gestion des risques acceptables et acceptés, et notamment du contrat de performance de départ.

La suite de l'article est divisée en deux parties. La première partie rappelle les théories oubliées -ou renaissantes- de la suffisance cognitive qui fondent ce modèle. La seconde partie construit sur cette base un modèle de maîtrise de la situation.

FONDEMENTS HISTORIQUES DE LA NOTION DE 'SUFFISANCE'

Suffisance dans la représentation mentale et la planification

Ce sont indiscutablement les travaux sur les représentations mentales qui ont ouvert la voie à l'idée d'une cognition optimisée avec ses propres critères, en montrant que ces représentations recherchent un isomorphisme fonctionnel au monde extérieur pour produire le comportement le plus adapté, plutôt qu'une stricte identité à la réalité présentée. Des écoles éloignées géographiquement (Norman, 1983; Ochanine, 1981; Piaget, 1974, voir le très bon numéro spécial de psychologie française de 1985, 3/4) avaient conclu à la même déformation des modèles mentaux par rapport au monde réel, à leur laconisme et leur finalisme, et *in fine*, à l'utilité de ces déformations en termes de réussite dans l'action (et la communication). Ces modèles ont tous comme logique de base la gestion efficace de la rationalité limitée, de l'impossibilité psychologique, intensive et qualitative, de tout percevoir, tout savoir, tout comprendre, et tout faire (Simon, 1982).

Chacun de ces auteurs avait aussi constaté que le modèle mental sert à prédire; cette fonction est essentielle. L'opérateur est très mauvais quand on le positionne en réactif à un environnement non routinier sans aucune anticipation ni modèle de cet environnement (c'est d'ailleurs une des limites de beaucoup de théories psychologiques acquises sur des données de laboratoire). Dans la plupart des situations naturelles complexes, il anticipe par la construction de modèles mentaux de la situation. Ces modèles permettent d'intégrer la propre capacité du sujet à transformer le monde, et à réagir aux événements redoutés, et de ce fait permettent d'émettre

des corrections tant que l'exécution n'est pas engagée (notion de fonction de pré-correction de Piaget, 1974). Ces corrections vont souvent jusqu'à des détours et des circonvolutions dans l'exécution pour s'éviter les événements potentiels que l'on ne saurait pas gérer; ainsi, les standardistes expertes, les médecins, comme les pilotes experts, passent plus de temps à éviter par avance les problèmes, qu'à gérer des problèmes réels (Amalberti, 1996 ; Falzon, Amalberti et Carbonell, 1986 ; Sébillotte, 1982). Les travaux sur la planification et la résolution de problème ont régulièrement retrouvé ces propriétés de l'adaptation et de la correction par anticipation (Hoc, 1987).

Inversement, l'intérêt de la planification a ses limites. Le sujet continue à planifier et à nourrir sa représentation tant qu'il ne croit pas à la crédibilité de sa solution, ou qu'il estime le coût de sa mise en jeu trop importante, et notamment pas assez routinière. Mais la planification s'arrête s'arrête souvent bien avant d'atteindre la capacité maximale de raffinement dont serait capable l'opérateur. O'Hara et Payne (1998, 1999) évoquent le critère d'arrêt sous le nom de « coût cognitif utile »: quel intérêt aurait l'opérateur à sophistiquer sa représentation, si c'est pour ajouter des éléments qui vont se périmier (l'action n'est pas exécutée immédiatement et le contexte va changer), ou si ce qui est déjà acquis est suffisamment robuste compte tenu des savoirs possédés (méta-connaissance) et des enjeux; en fait le plan le plus important à dresser avant l'action est un métaplan qui fixe le contrat de performance (le contrat minimum acceptable, les objectifs), cerne les points durs probables de l'exécution, les protège ou les évite par une réflexion préalable ; le reste de l'exécution s'accommode sans problème d'une adaptation en ligne, comme le montre l'ensemble des études sur le pilotage de combat et la préparation des situations à risques (Amalberti, 1996 ; Valot, dans le même numéro).

Suffisance dans le domaine de la décision

Le renouveau des théories sur la décision naturelle (voir le livre fondateur de Klein, Oranasu, Calderwood et Zsombok, 1993), très inspiré par les thèses de Gibson (1979), de Rasmussen (1986), et les travaux sur l'activité située, amène plusieurs arguments à l'idée de suffisance. Ce courant de travaux a accumulé des observations dans la plupart des grandes situations à risque (pilotage, situations militaires, nucléaire, urgences médicales, etc.). Les auteurs montrent que la plupart des biais dénoncés dans les théories classiques de la décision humaine (Kahneman et al, opus cité), sont en fait sans réelle importance, ni pertinence en situation naturelle complexe et dynamique. La décision est un processus continu, couplé à l'environnement. Ce processus passe par des décisions partielles, plus ou moins pertinentes, mais qui dans le flot, finissent en général par conduire à des résultats acceptables compte tenu des marges des situations réelles.

En plus, dans bien des cas, la décision en contexte est relativement guidée par l'affordance de la situation². Enfin, les opérateurs ont souvent une bonne connaissance des 'mondes' auxquels s'appliquent ces décisions, si bien que des décisions en théorie peu valides sont finalement peu dangereuses, notamment grâce aux réactions adaptées des autres agents cognitifs du monde environnement ; pire ou mieux, les opérateurs ont une forte expertise sur ce qu'ils peuvent contrôler en terme d'écart, et tolèrent de ce fait une faible validité de leur décision (dont ils peuvent prendre conscience) tant qu'ils considèrent qu'elle ne les conduit pas dans une situation en impasse par rapport à leur expertise.

² Le terme affordance est un néologisme provenant de l'anglais, signifiant l'idée d'inciter, d'inviter. IL se rapporte à une structure physique de l'environnement qui favorise spontanément une action particulière sur cette structure physique (par exemple pousser ou tirer une porte en fonction de la forme de la poignée) (voir Norman, 1988, pour un développement du concept inspiré de Gibson).

Suffisance dans le domaine du contrôle et de l'exécution

Compte-tenu des caractéristiques de 'suffisance' de la représentation, le modèle mental est loin de spécifier toute l'exécution, mais il contient les éléments guidant essentiels. L'activité proprement dite prend forme (s'énacte) par couplage à l'environnement, et par utilisation des affordances naturelles.

Zangh et Norman (1994) résumant bien ce double jeu de réglage en évoquant un double système de représentation dans la résolution de problème: une représentation interne de l'espace problème, et des représentations externes imbriquées dans l'environnement et le monde perçu.

D'une façon générale, les travaux sur la 'suffisance dans l'exécution', comme les travaux sur la 'suffisance dans la décision', recroisent l'héritage de Gibson et de Rasmussen.

Gibson et Crook (1938), dans un article ancien appliqué à la conduite automobile introduisent le concept d'espace d'affordance. L'espace d'affordance procure un cadre de travail pour penser l'action et les contraintes de ce qui peut être fait et non fait. Cet espace intègre le résultat de toutes les contraintes perçues ou imaginées (on retrouve bien sûr ici un précurseur de la notion d'espace problème de Newell et Simon, 1972, à ceci près, que l'espace est ici largement guidé par l'environnement et ses représentations externes, physiques). De ce fait des régions désirables (*safe field of travel*) émergent et s'imposent à un guidage perceptif relativement automatisé, alors que des régions dangereuses sont naturellement évitées, de même que sont alors réduites les occasions de solliciter la cognition à des niveaux d'abstraction plus élevées pour résoudre des situations à problème.

Ce lien entre structure affordante du monde et économie de la cognition est aussi un lien assez naturel entre les travaux de Gibson et les travaux de Rasmussen (voir pour un développement particulier Flach et Rasmussen, 2000)

Rasmussen développe dès les années 70 plusieurs macro-modèles de contrôle cognitif de l'action et du raisonnement en supervision dynamique. On entend ici par macro-modèles des modèles peu falsifiables au sens classique de la science expérimentale, avant tout heuristiques, et qui visent à rendre compte d'un comportement global de l'individu en situation.

Le plus connu de ces modèles cadres est le modèle SRK (Skills-Rules-Knowledge). Il s'agit d'une modélisation simplifiée des niveaux de contrôle cognitif de l'action qui intègre à la fois une dimension propre à la situation (dimension affordante, le besoin, le risque objectif) et une dimension endogène propre au sujet (le savoir, la maîtrise sémantique et procédurale). Rasmussen décrit un « outillage » de contrôle, et une palette de savoirs, qui ne sont activés qu'en fonction d'un calcul de suffisance : le sujet adoptera un contrôle basé sur les habitudes tant que ce contrôle est suffisant pour ses objectifs ; de même il s'abstiendra chaque fois que possible d'un accès à sa plus haute capacité d'abstraction, certes potentiellement performante, mais coûteuse en temps et en ressources (Rasmussen, 1986).

Depuis, les travaux s'accroissent pour souligner la nécessité de gérer en parallèle deux supervisions pour assurer la maîtrise de la situation : celle du processus physique et de la situation (on parlera de contrôle ou de supervision externe), et celle de soi-même, acteur cognitif du processus (on parlera de contrôle ou de supervision interne). Ces deux supervisions souvent en conflit d'intérêt expliquent la nécessité fondamentale de mécanismes de compromis et de suffisance.

La supervision du processus externe par un professionnel du domaine, comme on vient de le voir avec Gibson et Crook, permet un usage intensif des routines et des activités sub-symboliques en s'appuyant sur les planifications / anticipations, et sur le guidage procuré par les affordances de l'environnement.

- Ce n'est qu'en cas de problèmes et de blocage des processus routiniers d'exécution que la sollicitation cognitive augmente ; il faut alors procéder à la fois à un usage plus intensif de la cognition, mais aussi réguler cette intensité pour qu'elle rende des résultats utiles au dates-butée du processus qui continue à évoluer. Dans bien des cas, l'activité de supervision interne consiste alors plus à freiner l'exploration cognitive potentielle (notamment en termes de compréhension), qu'à la favoriser (Amalberti, 1996)
- Récemment, Noizet et Amalberti (2000) confirment ces résultats en étudiant les routines dans l'activité non incidentelle de rondier (tous experts) en centrale nucléaire. En utilisant une simulation réaliste, les auteurs montrent que les opérateurs contrôlent leur activité de déplacement uniquement à des points clés et sans véritable prise de conscience de ce contrôle. 60% de ces points clés correspondent à un risque objectif de l'environnement (risque de confusion, complexité locale), et ces contrôles sont relativement stables d'un opérateur à l'autre et d'une situation à l'autre, comme s'ils étaient déclenchés dans la routine par simple affordance de l'environnement. Par contre, les 40% des contrôles restants sont sans lien à l'environnement, et surtout variables en fonction de la pression de travail. Tout laisse à penser que ces contrôles sont surtout dirigés vers la supervision cognitive (et la gestion des arbitrages) et non vers la supervision directe du processus. Quand on soumet ces mêmes opérateurs à une pression temporelle importante, les contrôles externes restent stables, mais les nouveaux contrôles personnels s'organisent différemment, sont plus rapprochés dans le temps, probablement pour mieux surveiller le risque mécaniquement croissant d'erreurs et de débordement.

La supervision interne ou cognitive (du processus mental) répond à des objectifs différents de la supervision externe du processus physique :

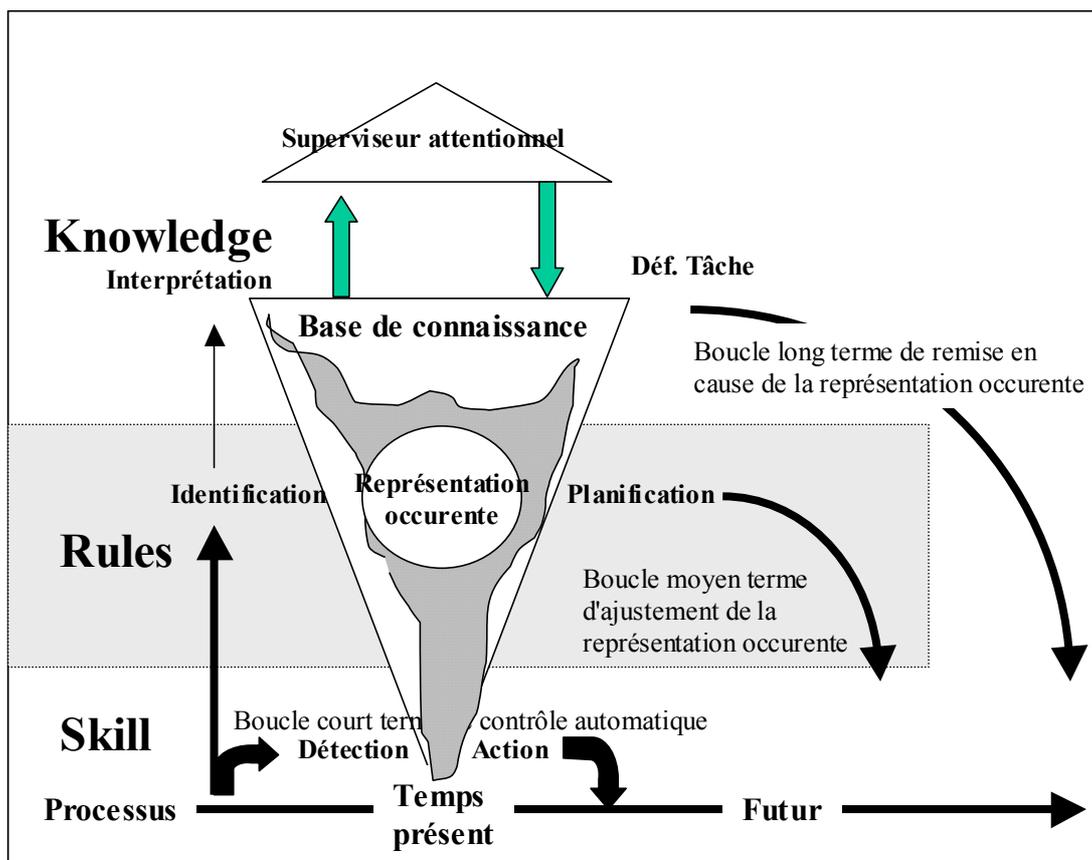
- d'une part, il s'agit de décider le lancement d'opérations cognitives symboliques, centrées sur la (re)planification, la compréhension et la construction de nouvelles solutions, quand les routines sont bloquées ou les auto-évaluations de performance négatives.
- D'autre part, il s'agit de contrôler ces activités symboliques pour en gérer l'intensité, la priorité, et *in fine* l'arrêt; la métacognition est fortement sollicitée dans tous ces arbitrages (Valot, dans ce numéro). On commence à comprendre la nature de ces arbitrages. Certaines solutions sont locales : la priorité est en général donnée par l'opérateur à la fermeture des tâches en cours avant d'ouvrir d'autres pôles d'investissement. L'opérateur sait aussi réaliser des contrôles très sophistiqués pour gérer le partage de tâches en temps réel comme le démontrent des résultats déjà anciens sur le pilote d'avion (Valot et Amalberti, 1989). Ces résultats montrent que les opérateurs disposent de mesures et d'heuristiques pour passer d'une tâche à l'autre en minimisant les risques : estimation de butée temporelle, de temps restant avant achèvement, estimation de stabilité et prédictabilité des tâches dans le futur immédiat, utilisation des réseaux de redondances informelles et repérage symbolique d'alertes pour revenir sur une tâche laissée pour compte. D'autres solutions s'appuient sur l'ouverture de boucles cognitives parallèles qui vont travailler sur le processus à différents niveaux de profondeurs temporelles (Hoc et Amalberti, 1994, voir figure 1). Ce parallélisme, qui se couple nécessairement à un rendement sub-optimal pour chaque activité (puisque'il faut se partager), n'est que exceptionnellement fatal parce que les situations réelles sont bien plus tolérantes que les situations de laboratoire. La faible exigence du

monde extérieur génère des marges pour l'efficacité de l'action, et mécaniquement réduit les effets des erreurs; cette faible exigence n'est évidemment pas fortuite : elle résulte pour une grande part de l'organisation du monde, et des métiers, pour lesquels l'homme, en façonnant l'environnement, devient son propre générateur de marge et son propre 'affordeur'.

Figure 1 : « ARCHITECTURE COGNITIVE DE CONTRÔLE DYNAMIQUE »

Selon Hoc et Amalberti, 1994, revu par Raufaste, 1999

Légende : Le modèle repose sur une base de connaissances partiellement activée au niveau conscient à travers la représentation occurrente, et partiellement mobilisée au niveau inconscient (en gris foncé) par un treillis d'activation sous contrôle de la représentation occurrente. A chaque instant, la cognition se construit des auto-évaluations sur sa performance, ses modèles, et ses anticipations. Chacune de ces évaluations nécessiterait des actions correctives 'à suivre' (physiques ou intellectuelles) pour rester sur une "trace cognitive optimale" supposée correspondre à l'exécution idéale du travail avec un résultat maximum, une satisfaction parfaite, et une conscience totale de la situation. La réalité est différente, car la cognition n'a pas les moyens de réaliser toutes les opérations imaginées nécessaires en réponse à ces évaluations. Un compromis est nécessaire sur les opérations de corrections qui vont être lancées, et celles qui vont être différées, ou annulées. Le compromis dépend des objectifs, des priorités à court terme et d'un savoir métacognitif sur les coûts probables des révisions de la représentation. Le modèle met en évidence un fonctionnement parallèle avec trois boucles de réajustements qui s'inscrivent dans des échelles de temps et d'ambitions de corrections différentes.



Au bilan, cette double supervision physique et mentale utilise un continuum d'activations cognitives. La distinction habituelle entre activités symboliques et sub-symboliques résiste peu à un tel modèle. Raufaste (1999) montre par exemple, dans une perspective très cohérente avec les moyens à mettre en jeu dans cette double supervision, que la représentation occurrente n'est pas la seule partie de la base de connaissance qui permet de conduire l'activité, même si c'est souvent la seule étudiée en psychologie cognitive faute de méthode pour atteindre les autres couches (routines et connaissances profondes). La représentation occurrente active avec elle un réseau de connaissances sub-symboliques, ces connaissances pouvant elles-mêmes, de façon relativement autonome, lancer des routines d'actions. De ce fait, Raufaste ajoute au modèle de Hoc et Amalberti (opus cité) « un superviseur attentionnel qui est capable par nature de gérer des interventions susceptibles de provoquer un changement local du niveau de contrôle (Skill-Based [SB], Rules-Based [RB] ou Knowledge-Based Behaviours [KB]), et/ou moduler la pondération des informations en provenance de l'environnement. On peut en outre retrouver dans le modèle la notion du contrôle des théoriciens de la méta-cognition. En effet la circulation d'information de la base de connaissance de niveau objet vers le niveau attentionnel s'apparente au monitoring, tandis que la circulation d'information du superviseur attentionnel vers la base de connaissance de niveau objet s'apparente au contrôle, selon les définitions qu'en donne Nelson (1996) » (in Raufaste, 1999, 221-222)

LA NOTION D'ADAPTATION DYNAMIQUE : VERS UN MODELE DE GESTION DES RISQUES

On vient de le voir, la suffisance dans l'action passe par l'utilisation du temps et des niveaux de compréhension.

Le réglage de la suffisance par le temps et la gestion dynamique

Le temps est sûrement, après la suffisance, une deuxième grande valeur mal comprise de la cognition dans la littérature psychologique sur la fiabilité. La logique expérimentale n'a souvent vu dans le temps qu'un instrument de mesure de la capacité intellectuelle (le temps de réaction ou de réponse). Plus le temps de réponse à un stimulus est long, plus il est apparu naturel de considérer que la situation était complexe à résoudre, ou que le processus intellectuel étudié était déficient (il pouvait s'agir de perception, de raisonnement ou de toute autre activité).

Récemment, le temps est redevenu un objet d'étude propre, et pas seulement un instrument de mesure. Les travaux sur les environnements dynamiques ont servi de catalyseur à cette révision (Cellier, de Keyser et Valot, 1996).

Le temps est un outil de gestion cognitive sous deux angles :

- D'une part, il est encodé dans la représentation même de l'activité et sert d'indicateur temporel pour l'organisation du travail. De Keyser (1996) a introduit la notion de systèmes de références temporelles pour montrer les échelles totalement différentes de temps des tâches humaines et professionnelles qui évoluent en parallèles : certaines sont à l'échelle de

la seconde, d'autres à l'échelle du mois. L'opérateur joue souvent sur les butées maximales comme des valeurs de repères sur lesquels il peut organiser son activité en temps partagé (Valax, 1986). Ces butées multiples peuvent parfois le tromper, mais dans la grande majorité des cas, l'opérateur gère très bien ces systèmes de temps parallèles, et s'en sert comme marqueurs naturels de la répartition de ses activités au cours de la journée.

- D'autre part, le temps est un moteur de la transformation du monde, et possède un potentiel de résolution propre des problèmes et des erreurs. Parce que les situations sont dynamiques, le problème d'un moment n'est en général pas le problème du temps suivant ; ne rien faire peut ainsi résoudre beaucoup de difficultés. De même, le temps, en changeant la situation et en accumulant mécaniquement les informations, transforme dans beaucoup de cas un problème complexe en un problème simple, particulièrement dans les systèmes très instrumentalisés ; les humains le savent et se servent constamment de cette propriété. Il est plus facile de gérer des situations prototypiques, pour lesquelles des réflexes de réponses sont connus et efficaces, que de gérer des situations floues pour lesquelles il faut d'abord investir en compréhension et où le risque d'erreur d'action est plus élevé. Hoc, Morineau et Denecker (2000) montrent par exemple en étudiant les situations de contrôle aérien que les contrôleurs ne déclenchent le traitement des conflits que quand tous les éléments du conflits sont présents sur l'écran, et que tous les moyens d'actions disponibles ; le conflit est souvent vu depuis longtemps, mais difficile à caractériser dans des conditions partielles, et souvent impossible à corriger par les méthodes les plus faciles si le contrôleur se précipite dès qu'il le voit ; attendre devient un avantage évident, y compris en termes de gestion de la charge de travail. Enfin, la construction de l'artefact (l'instrument de supervision)³ est pensé pour fournir les moyens à l'opérateur de disposer de marges confortables pour gérer les conflits.

Il en va exactement de même avec le contrôle des erreurs ; le temps est souvent un outil précieux pour repérer ses erreurs, voire pour en réduire les conséquences. Cette propriété du temps est reprise longuement dans le paragraphe suivant, car elle est à la base de la régulation écologique des risques.

Le réglage « dans le temps » des erreurs et de la compréhension « suffisante »

Le réglage dans le temps de la compréhension

Le réglage dans le temps de la compréhension est un résultat récurrent dans la littérature psycho-ergonomique issue des études de terrain. Une série d'études converge pour montrer que les opérateurs, s'ils ont le choix, préfèrent agir à comprendre, car l'action aide la compréhension (voir Rouse, 1981 pour une synthèse de ces recherches, et Reason, 1993 pour une application à la modélisation des erreurs dans le modèle GEMS). Ces idées simples sont toutefois chroniquement remises en cause ; c'est le cas dans le développement récent de la notion de conscience de la situation, qui, mal comprise, laisserait supposer que la situation doit être comprise à chaque instant (Endsley, 1995).

³ Dans l'exemple du contrôle aérien, l'écran radar fournit un zoom sur la situation qui laisse plusieurs minutes aux avions pour traverser l'écran de par en par ; l'écran dispose aussi de repères de distances sur des cercles concentriques qui facilite le positionnement relatif des avions les uns par rapport aux autres

Plusieurs expérimentations en aéronautique (voir pour une compilation Amalberti, 1996, et pour une expérience plus récente Plat et Amalberti, 2000) montrent que les pilotes exposés à des pannes ne cherchent pas à réaliser de diagnostic causal ; ils limitent considérablement leur investissement dans une compréhension fine du problème. Ils donnent la priorité au maintien d'une solution valide pour l'objectif, qui reste compatible avec leur savoir-faire sur un mode relativement aisé. S'il n'existe plus de solution, ou si la solution est trop difficile, les pilotes investissent alors dans la recherche de nouvelles solutions.

Le réglage dans le temps de la gestion des erreurs

Une autre série d'études récentes (Wioland, 1997 ; Marc et Amalberti, in press) montrent à quel point le contrôle de l'erreur est une variable parmi d'autres, et *in fine* peu prédictive, de la maîtrise de la situation.

Wioland travaille sur un micromonde de contrôle aérien avec des contrôleurs professionnels et des sujets expérimentaux formés sur le jeu uniquement ; parmi ses résultats, trois sont essentiels pour la compréhension de la gestion de l'erreur dans le temps:

- ◆ les sujets produisent un flux assez constant de 1 à 3 erreurs à l'heure quels que soit leur niveau d'expertise, sauf pour les extrêmes débutants. Paradoxalement, le nombre d'erreurs a tendance à baisser dans les situations les plus exigeantes (contrôle cognitif renforcé), mais dans ce dernier cas le taux de récupération a également tendance à s'effondrer (manque de ressources suffisantes pour un contrôle et une récupération en ligne). Le risque de perte de maîtrise se corrèle mieux à un taux de récupération qui baisse qu'à un taux d'erreur qui augmente.
- ◆ le flux d'erreur est doublement contrôlé. 70 à 80 % des erreurs sont détectées. Les détections sont plus importantes pour les erreurs de routine que pour les erreurs de connaissances recoupant bien le fait que les routines sont sous contrôle cognitif. Surtout, les sujets experts " laissent passer " de plus en plus d'erreurs sans conséquences pour le travail en cours (72% des erreurs non récupérées des contrôleurs sont sans conséquences, alors que seulement 13% des erreurs non récupérées des novices sont sans conséquences, Wioland, opus cité); ce dernier résultat est retrouvé avec des chiffres relativement voisins dans plusieurs études récentes (Helmreich, 2000)
- ◆ la métaconnaissance et la confiance (notions au demeurant connexes, Valot, dans ce numéro) sont au centre du contrôle cognitif du risque.

Dans un autre travail de thèse effectué sur la régulation des appels d'urgences au SAMU 75, Marc (Marc et Amalberti, sous presse) étudie la contribution de chaque membre de l'équipe à la sécurité du groupe. On regarde particulièrement le seuil et les critères d'intervention des individus (signalisation aux autres, récupération sur décision personnelle) pour récupérer un risque détecté dans la situation collective. Les opérateurs attendent en moyenne plusieurs minutes entre le moment du diagnostic de la défaillance et l'intervention ; ils interviennent plutôt par 'touches' successives, augmentant le niveau d'alerte, parfois protégeant le groupe par leur surveillance, avant de véritablement provoquer une alerte forte ou tenter une récupération. Tout se passe comme si les opérateurs acceptent que le groupe dérive en permanence vers un niveau de risque significatif, tout en intervenant sur ce niveau de risque pour le garder à une échelle gérable et réversible.

On peut trouver plusieurs rationalités à ces comportements : gestion croisée de leur propre charge de travail avec l'activité au profit du groupe, contrôle des interruptions sur les autres

pour limiter d'autres risques, expérience positive d'une certaine tension dans la performance globale, ou confiance dans le temps et les autres acteurs pour corriger les problèmes.

Vers une meilleure compréhension de la maîtrise de la situation

Les bases de ce qui pourrait être appelé une théorie de sécurité écologique éclairent d'un jour complémentaire certains acquis de la littérature sur la maîtrise des situations dynamiques. La clé d'une interprétation cohérente des résultats réside dans les points suivants :

La maîtrise de la situation exige une double supervision : celle du processus externe et celle du processus mental. La priorité des activités cognitives du champ conscient est d'assurer la supervision mentale ; quand celle-ci est bien assurée, la supervision du processus physique peut être traitée à un niveau relativement routinier, en utilisant les savoir-faire fortement procéduralisés. En bref, quand la maîtrise est assurée, la supervision du processus physique est largement automatisée dans les situations normales, alors que la maîtrise de la situation (supervision interne) reste une activité très symbolique, qui fonctionne avec un frein constant pour ne pas entrer dans des optimums locaux (compréhension parfaite, action parfaite) décorrélés des demandes des butées du processus physiques. La sécurité à l'intérieur de chaque supervision est assurée par des mécanismes cognitifs différents :

- Pour la supervision externe, les routines incorporent leur propre contrôle. Ces contrôles ont un seuil de déclenchement relativement tardif, nécessitant une dérive significative des valeurs du processus physique pour activer (automatiquement souvent) l'exécution d'une routine de correction. Ainsi, plus la situation dérive de façon franche, plus la correction est facile et routinière, à condition de rester dans l'enveloppe des savoir-faire de correction. Inversement, moins la dérive est franche et visible, plus sa correction demande du temps, des ressources, et une sollicitation de la supervision interne avec une résolution de problème non routinière à la clé. Cette propriété est utilisée par la cognition pour un contrôle tactique (à court terme) du processus physique, continu, économique en coût et efficace, utilisant le temps comme arbitre des priorités et amortisseur des problèmes.
- La supervision interne du processus mental gère les activités symboliques nécessaires à la coordination du processus. Elle doit aussi s'économiser et utiliser un maximum d'arbitrage pour atteindre une 'suffisance' compatible avec ses ressources. Tout point douteux ne peut pas être compris à fond, et le temps disponible laisse rarement la chance d'explorer toutes les solutions disponibles et connues. Flirter avec une expérience de risque qui demeure maîtrisable devient un outil de la gestion cognitive de tous les instants. Comme pour la supervision externe, mais ici avec un mécanisme différent, le contrôle tactique de la cognition s'appuie sur le temps restant avant les dates butées, et sur les *limites turbulentes* du système cognitif (NDLA : la notion de *limites turbulentes* est reprise du vocabulaire de Gibson), limites signalées par l'émergence des signaux annonçant l'éminence de perte de contrôle. Ces signaux reflètent les difficultés de supervision interne : trop d'erreurs, trop de temps à détecter les erreurs, accumulation d'autocensure à comprendre faute de temps et de ressources (alors que le sujet est certain qu'un peu de temps permettrait de comprendre), débordement quantitatif des actions à conduire. Par expérience et apprentissage, ces signaux sont tels qu'ils interviennent bien avant la perte réelle de maîtrise, dès les premières difficultés ressenties (notion de marges). Leur survenue s'accompagne d'un

changement de stratégie et de mode de contrôle, qui consiste le plus souvent à réviser le contrat d'objectif.

Une vision naïve de la cognition 'idéale' supposerait un gain si l'on forçait l'opérateur à fonctionner loin de limites turbulentes évoquées précédemment et de toute prise de risques. En fait, cette zone centrale correspond à un manque de feedback de la situation, et s'avère à l'usage particulièrement inconfortable. Le sujet se sent très mal à l'aise. Valot et Amalberti, opus cité, avaient par exemple montré dans une expérimentation sur une situation où on maintient le pilote en situation d'assistance maximale, sans problème, et sans feedback, que les pertes de contrôle de la situation non seulement ne diminuent pas, mais augmentent. De tels résultats sont aussi évoqués par Rasmussen, 1997. Les sujets recherchent ces migrations incessantes en ne corrigeant pas immédiatement les événements, en laissant les problèmes s'installer avant action, en augmentant localement la performance au détriment de la compréhension, et s'en servent de limites à leurs prises du risque grâce aux alarmes cognitives qui les bordent et signalent le risque croissant de perte de contrôle. En bref, la cognition ne sait vraiment bien gérer ses risques internes et externes qu'en les cotoyant; vouloir interdire à l'opérateur l'expérience de ces risques est un non sens psychologique et ergonomique.

A côté des règles d'arbitrages entre les deux supervisions concourantes, la métacognition est une autre variable déterminante d'une maîtrise réussie de la situation. Les critères que le sujet s'impose sur l'objectif (le contrat initial passé avec lui-même et l'entreprise) influencent toutes les stratégies et tactiques de supervision et sont la première source de réglage du niveau de risque qui va être accepté pendant l'exécution ; or le réglage de ce contrat de performance est largement dépendant de la métacognition (voir Valot, dans ce numéro).

Enfin, à chaque instant, la copie cognitive est comme un devoir inachevé. Le sujet est conscient qu'il n'a pas tout compris, pas tout fait ce qu'il aurait fallu faire, et qu'il a commis des erreurs qu'il n'a pas encore récupérées. Cette sphère de conscience de « l'inachevé » ordonne des priorités cognitives, et explique souvent des déviations, qui n'ont pour seuls buts que de se donner plus de temps pour récupérer des retards. Cette notion de brouillon inachevé est indispensable à la gestion dynamique de la cognition, et s'avère performante sur le but (malgré toute cette imperfection de chaque instant, le résultat est le plus souvent correct) ; mais elle crée aussi beaucoup de difficultés dans la conception et le couplage aux aides, car ces dernières sont souvent très directives dans la correction immédiate des défauts et perturbent gravement –en voulant bien faire- le réglage de la gestion dynamique des risques. Là encore vouloir forcer l'opérateur à travailler constamment en performance optimale est un non-sens psychologique et ergonomique.

Au bilan, avec ces caractéristiques hautement dynamiques, la maîtrise de la situation s'exprime par quelques paradoxes pratiques, connus depuis longtemps avec Dörner (1989), et revalidés par les études récentes :

- le sentiment de bonne maîtrise de la supervision s'exprime par une performance instantanée souvent bien imparfaite, mais avec la conscience qu'il existe au moins une solution (et si possible une alternative) disponible pour atteindre l'objectif avec les savoir faire personnels ou collectifs. Le flux d'erreur est assez important, la compréhension est limitée, le guidage est largement basé sur des routines réactives aux affordances du monde. on retrouve ici une vérification des perspectives introduites par Gibson, et revues par plusieurs auteurs en ergonomie cognitive (Rasmussen, 1997 ; Flach, Ramussen, 2000 ; Amalberti, 2001).

- Paradoxalement, quand ce sentiment de maîtrise de la solution disparaît, l'opérateur est rapidement dans une situation de débordement cognitif qui se traduit par une réduction des 'déchets de comportement' : il fait moins d'erreurs, rejoint le trait nominal de la solution qu'il pensait efficace, réduit le parallélisme d'activités (notamment les pensées de la sphère personnelle) et lance une activité intense de recherche de solution alternative.
- Quand il a totalement perdu la maîtrise, il se replie souvent vers un sous-espace du problème qu'il maîtrise bien et pour lequel il ne fait aucune erreur, mais le reste de la situation et le sort final du problème est abandonné (éventuellement confié par défaut au collectif ou à un automate).

CONCLUSION

Le modèle de sécurité écologique qui émerge de cet article ne garantit pas une sécurité totale. Il porte en lui les germes de défaillances potentielles très sévères. Mais il permet de comprendre différemment ces défaillances par rapport aux modèles classiques d'erreurs.

L'hypothèse de base repose sur une cognition qui 'veut survivre' et qui se donne les moyens de sa sécurité ; l'erreur ou la défaillance grave doivent être évitées. Mais elle se doit aussi d'être efficace ; une position maximaliste en contrôle complet et permanent de la performance réduit considérablement le potentiel de performance. Le système cognitif s'est configuré dynamiquement pour répondre à ces deux objectifs contradictoires.

Cette configuration repose sur deux piliers : (i) s'adosser à l'émergence naturelle des signaux cognitifs pour procéder aux corrections tactiques quand la cognition atteint les premières limites de contrôlabilité (encore aisément récupérables, donc avec des marges) ; (ii) s'appuyer sur la métacognition pour gérer le caractère stratégique et garder le contrat d'objectif dans une zone effectivement réalisable (par expérience).

Les défaillances graves surviennent quand un de ces deux piliers est parasité, soit que les signaux de limites soient masqués ou que la métacognition indique des capacités erronées de gestion. Ces deux conditions sont souvent remplies dans une automatisation des systèmes : d'une part, les automatismes masquent la perte de contrôle cognitive en garantissant une performance maximale même sans intervention et compréhension de l'opérateur ; d'autre part, les connaissances de l'opérateur sur le système deviennent plus hétérogènes du fait de l'accroissement de la complexité globale; les mécanismes de mémoire et de métaconnaissance finissent par gommer une partie de cette hétérogénéité et font croire à l'opérateur qu'il en sait plus que la réalité de sa cognition (Amalberti, 1998).

Les travaux présentés dans cet article ont aussi une ambition plus théorique et méthodologique. Ils s'inscrivent dans une tradition croissante d'études psychologiques qui soulignent la richesse de mise en jeu par la cognition en situation. La palette des fonctions psychologiques est maintenant bien établie par la psychologie expérimentale ; mais elle n'est qu'un outil pour une autre série d'autres fonctions qui assurent la performance en utilisant l'éventail de cette palette pour s'ajuster aux demandes de la situation. Cette couche de supervision dynamique reste un défi pour la psychologie.

Ce défi est d'autant plus grand que la supervision interne n'agit pas que sur la représentation occurrente, cible facile des méthodes cognitives (grâce à l'accessibilité et à la relative fiabilité des protocoles verbaux), mais utilise largement les routines et les connaissances profondes pour

lesquels la psychologie traditionnelle a une fâcheuse tendance à sous-estimer l'importance du fait du biais méthodologique d'accès.

Enfin, et ce n'est pas le moins important, la compréhension progressive de ces modèles de supervision révèle un fonctionnement cognitif intégré humain extrêmement fiable et sophistiqué, tout à l'inverse d'un message d'insuffisance et de manque de fiabilité habituellement associé aux comportements humains, par méconnaissance, et par biais d'études trop centrées sur les nombreuses erreurs (mal comprises) et les rares défaillances (exagérément étudiées). Rappelons ici que si 80% des accidents graves dans les industries à risques ont une cause humaine, on a aussi 99,9999% des situations de travail sans accident grave⁴, résultat largement obtenu grâce aux étonnantes capacités cognitives de l'opérateur. Il est urgent d'en tirer les leçons pour la psychologie, et de revoir profondément les paradigmes expérimentaux, notamment en réhabilitant les études de situations 'normales' et en évitant le prisme réducteur des erreurs comme variable principale d'analyse.

REFERENCES

- Allwood, C-M. (1984) Error detection processes in statistical problem solving, *Cognitive science*, 8, 413-437
- Amalberti, R. (1996) *La conduite des systèmes à risques*, Paris: PUF
- Amalberti, R. (1998) Automation in Aviation : A human factors perspective, in D.Garland, J.Wise & D. Hopkin (Ed.) *Aviation Human Factors*, pp 173-192, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Amalberti, R. (2001) The paradoxes of almost totally safe transportation systems, *Safety Science*, 37, 109-126
- Cellier, J.M., De Keyser, V., & Valot, C. (Eds. 1996) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*, Paris : PUF
- De Keyser, V. (1996) Les erreurs temporelles et les aides techniques, In J.M.Cellier, J.M., V. De Keyser, V., & C.Valot, C. (Eds), *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*, pp287-310, Paris : PUF
- Dörner, D. (1989) *La logique de l'échec*, Paris : Flammarion
- Duncker K. (1945) On problem-solving, *Psychol. Monographs*, 58, n°5
- Endsley, M. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 32-64
- Falzon, P., Amalberti, R., et Carbonell, N. (1986) Dialogue control strategies in oral communication, in D. Hopper & I.A. Newman (Eds): *The future of command languages : foundations for Human Computer communication*, (pp 73-98), North Holland: Elsevier Science Publisher.
- Flach, J. & Rasmussen, J. Cognitive Engineering : Designing for Situation Awareness, In N. Sarter & R. Amalberti R. (Eds.) *Cognitive Engineering in the Aviation Domain*, (pp81-92), Hillsdale: LEA
- Gibson J., & Crooks L. (1938) A theoretical field analysis of automobile-driving, *American Journal of Psychology*, 51, 453-471
- Gibson, J. (1979) *The ecological approach to visual perception*, Boston : Houghton-Mifflin

⁴ Dans la plupart des grandes industries à risques (nucléaire, transport, etc), le taux de catastrophe est de 1 pour 1 million (1×10^{-6}) d'unité de compte d'activité (par exemple mouvement aéroport, ou passager par kilomètre dans le rail)

- Helmreich, R. (2000) Assessing Safety in Flight Operations, proceedings Icarus meeting, (pp122-135), March 21th, Washington DC.
- Hoc, J.M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble : PUG
- Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1994) Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques, *Psychologie Française*, 39-2, 177-192
- 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 de Recherche). Athis-Mons, F: CENA, Projet AMANDA,
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982) *Judgement under uncertainty : heuristics and biases*, Cambridge, Ma : Cambridge University Press
- Klein, G., Oranasu, J. Calderwood, R. & Zsombok, C. (Ed.) (1993) *Decision making in action : models and methods*, Norwood, NJ : Ablex
- Leplat, J. & de Tersac, G. (1990) (sous la direction de) *Les facteurs humains de la fiabilité*, Marseille : Octarès
- Marc, J., & Amalberti, R. (In press) Rôle de l'individu dans la sécurité du collectif, In A. Benckroun, A. Wiell-Fassina & R. Amalberti, (Ed.), *Activités collectives dans la maîtrise des risques et dans la fiabilité des système sociotechniques*, Toulouse : Octarès
- Noizet, A. & Amalberti (2000) Le contrôle cognitif des activités routinières des agents de terrain en centrale nucléaire : un double système de contrôle, *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14(1-2), 73-92
- Norman, D. (1988) *The design of everyday things*, New York : Double Day Currency
- Norman, D. (1983) Some observations on mental models, in G. Stevens & S. Gentner, Eds, *Mental models*, Hillsdale, NJ : LEA
- Ochanine, D. (1981) L'image opérative, actes d'un séminaire et recueil d'articles, Université Paris V
- O'Hara, K. & Payne, S. (1998) The effects of operator implementation cost on planfulness of problem solving and learning, *Cognitive Psychology*, 35, 34-70
- O'Hara, K. & Payne, S. (1999) Planning and the user interface : the effect of lockout time and error recovery cost, *International Journal Human Computer Studies*, 50, 41-59
- Piaget, J. (1974) *La prise de conscience*, Paris: PUF
- Plat, M. & Amalberti, R. (2000) Experimental crew training to surprises, In N. Sarter & R. Amalberti R. (Ed.) *Cognitive Engineering in the Aviation Domain*, (pp110-123), Hillsdale: LEA
- Raufaste, E. (1999) *La théorie du support consonant*, Thèse de doctorat de psychologie, Toulouse Le Mirail.
- Rasmussen, J. (1986) *Information processing and human-machine interaction*, Amsterdam : Elsevier North Holland.
- Rasmussen, J. (1997) Risk management in a dynamic society, a modelling problem, *Safety science*, 27, 2-3, 183-214
- Reason, J. (1993) *L'erreur humaine*, Paris : PUF (traduit par J.M. Hoc, de *Human error*, 1990, Cambridge University Press)
- Reason, J. (1997) Managing the risk of organizational accidents, Aldershot: Ashgate Avebury
- Rizzo, A., Bagnara, S. & Visciola, M. (1987) Human error detection process, *International Journal Man-Machine Studies*, 27, 555-570
- Rouse, W. (1981) Experimental studies and mathematical models of human problem solving performance in fault diagnosis tasks, In J. Rasmussen & W. Rouse (Eds), *Human detection and diagnosis of system failure*, pp110-123, New-york: Plenum press

AMALBERTI, R. (2001)

La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, 46(2), 105-117.

Sébillotte, S. (1982) *Les processus de diagnostic au cours du déroulement de la grossesse*, Thèse de psychologie, Université Paris V

Simon, H. (1982) *Models of bounded rationality*, Vol1, MIT Press

Tversky, A. & Kahneman, D. (1974) Jugement under uncertainty : heuristics and biases, *Science*, 185, 1124-1131

Valax M.F. (1986) Cadre temporel et planification des tâches quotidiennes : Etude de la structure des plans journaliers des agriculteurs, *Le travail Humain*, 49, 371-374

Valot, C., & Amalberti, R. (1989) Les redondances dans le traitement des données, *Le travail humain*, (52), 2, 155-174.

Van Der Schaaf T. (1999) Human recovery of errors in Man-Machine Systems, Proceedings CSAPC 99, (pp21-26) Villeneuve d'Asq: France, September

Wioland, L. (1997) Etude des mécanismes de protection et de détection des erreurs, contribution à un modèle de sécurité écologique, Thèse de doctorat de psychologie, Université Paris V, Déc.1997

Zangh, J. & Norman, D.A. (1994). Representation in distributed cognitive tasks, *Cognitive Science*, 18:87-122