

L'ERGONOMIE COGNITIVE : UN CHAMP PLURI-DISCIPLINAIRE DANS LES SCIENCES COGNITIVES

Jean-Michel HOC
Directeur de Recherche au CNRS

CNRS - UNIVERSITE DE PARIS 8
IJRA 1297 "Psychologie Cognitive du Traitement de l'Information Symbolique"
Equipe de Psychologie Cognitive Ergonomique
2, rue de la liberté - F-93526 SAINT-DENIS CEDEX 2

In G. Vergnaud (Ed.) *Sciences cognitives : formes, catégories et représentation des connaissances*. Paris, Editions du CNRS, 1991.

RESUME

On propose une conception de l'Ergonomie comme un domaine de recherches et de pratiques pluri-disciplinaires, visant à élaborer des connaissances ou des dispositifs susceptibles d'améliorer les conditions de travail. On se concentre sur le sous-domaine de l'Ergonomie Cognitive, qui participe, de façon originale, à la pluri-disciplinarité du courant des Sciences Cognitives. Plus particulièrement, on présente certains des apports des recherches en Psychologie Cognitive Ergonomique (PCE) à ce domaine, pour ce qui concerne l'étude des activités de résolution de problème. Trois principaux types de situations sont examinés, pour lesquels on présente les modes d'approches spécifiques et les recherches en développement. On insiste sur le caractère atypique de la majorité des situations de résolution de problème, néanmoins décomposables dans les termes de ces situations typiques.

1. L'ERGONOMIE COGNITIVE ET LE POINT DE VUE DE LA PSYCHOLOGIE COGNITIVE ERGONOMIQUE

Dans le contexte des Sciences Cognitives, la contribution de l'Ergonomie présente une originalité : celle d'être déjà en elle-même un domaine de recherche pluri-disciplinaire, dans lequel les expériences de coopération entre disciplines sont, non seulement anciennes et très vivantes, mais encore incontournables. Ces recherches visent principalement à élaborer des connaissances pertinentes à l'amélioration des conditions de travail. On conçoit que, pour mener à bien de telles améliorations, ces connaissances doivent être élaborées en référence aux théories et aux méthodologies de plusieurs disciplines, relevant tout autant :

- des Sciences de la Vie (modes de fonctionnement du système biologique, jusqu'à ses caractéristiques psychologiques, psycholinguistiques et psychosociales) ;

- des Sciences de l'Homme et de la Société (notamment, l'anthropologie, l'étude des organisations et des communications, y compris économiques) ;
- des Sciences de l'Ingénieur (qu'il s'agisse du Génie Mécanique ou Cognitif).

Néanmoins, l'objectif de l'Ergonomie l'amène à privilégier le point de vue de l'opérateur humain dans l'étude des Systèmes Hommes-Machines (SHM) et à s'insérer plus volontiers dans le secteur des Sciences de la Vie. Par ailleurs, sa démarche empirique, faisant prévaloir les faits sur les théories, l'amène à développer des méthodologies qui partagent des traits communs avec celles de ces sciences. Toutefois, le temps important qui est consacré au recueil et à l'analyse de données, souvent volumineuses, lui fait partager des traits communs avec certaines démarches de la Physique.

Depuis quelques années, un sous-domaine de recherche, bien individualisé et organisé, s'est constitué autour du vocable *d'Ergonomie Cognitive (EC)*, à partir d'un champ de recherches portant sur l'Interaction Homme-Ordinateur. L'EC s'est d'abord concentrée sur l'étude de l'apprentissage et de l'utilisation de logiciels existants, jouant un rôle central dans la définition des postes de travail (traitement de texte, par exemple). Son originalité, par rapport à l'Ergonomie était donc l'étude des Systèmes Hommes-Ordinateurs. Elle a ensuite élargi sa perspective, en intégrant des recherches en Psychologie Cognitive du Travail qui, depuis longtemps, s'intéressaient aux conditions du travail cognitif, dans des environnements éventuellement non informatisés. Ceci l'amène à étudier des tâches dans lesquelles les logiciels peuvent jouer un rôle partiel, par exemple dans le contrôle de processus industriels. Les opérateurs ne sont plus considérés exclusivement comme des utilisateurs de logiciels, mais comme des acteurs susceptibles de recourir, dans certaines conditions, à des aides logicielles, qui ne soutiennent pas nécessairement l'ensemble de leur activité. D'autres soutiens jouent également un rôle non négligeables, notamment d'autres supports d'information, tels que des documents, ou des structures organisationnelles et des réseaux de communication.

En ce qui concerne l'Interaction ou la Communication Homme-Ordinateur, la démarche de l'EC rejoint celle du Génie Cognitif, la première étant davantage centrée sur l'opérateur humain, la seconde sur les systèmes techniques. Les progrès dans les interactions pluridisciplinaires des Sciences Cognitives permettent de faire de mieux en mieux communiquer les modèles cognitifs élaborés dans le cadre de diverses disciplines, pour modéliser les deux types de composantes des Systèmes Hommes-Machines de façon cohérente.

Toutefois, l'originalité de l'EC ne doit pas la détacher de l'Ergonomie. L'EC est certainement la mieux à même de traiter des interfaces entre les conditions cognitives du travail et ses conditions physiques, par exemple, pour éviter une conception trop étroite

de l'opérateur humain, qui n'en ferait qu'un pur esprit. L'étude des conditions de travail dans des environnements exceptionnels (mer et espace) ou dans des situations de stress fournissent des exemples typiques d'un tel risque. On imagine aisément qu'il ne servirait à rien de concevoir des aides embarquées, même parfaites, au pilote d'un avion de combat, dont la physiologie ne lui permettrait pas de supporter les mouvements de l'avion.

Parmi les disciplines participant à la recherche en EC, la *Psychologie Cognitive Ergonomique (PCE)* y apporte une contribution majeure, sur laquelle ce chapitre est centré. On discutera aussi des apports de la PCE à la recherche en Psychologie Cognitive en général. La démarche ergonomique ainsi introduite dans la recherche en Psychologie présente des exigences particulières, qui confèrent à la PCE une originalité susceptible de conduire à des apports originaux :

- En premier lieu, elle encourage à ne pas se contenter de *décrire* des mécanismes; mais à chercher à les *expliquer* par leurs conditions de mise en oeuvre, pour orienter vers la conception d'aides à l'activité. Sur ce point, il faut insister sur le fait que la Psychologie ne saurait fournir *Le Modèle de l'Opérateur*, car il n'aurait aucun sens. On attend d'elle qu'elle fournisse plutôt *des modèles d'opérateurs*, accompagnés de leurs conditions de validité. Par exemple, les stratégies de résolution de problème peuvent grandement varier d'un opérateur à l'autre, selon le niveau de formation, les expériences acquises, la fonction dans la situation, etc... Elles varient également chez le même opérateur selon les situations auxquelles il est confronté. Si les systèmes informatiques que les opérateurs utilisent peuvent être considérés comme relativement stables, leurs utilisateurs ne sont pas stables et requièrent des outils flexibles. Or ces outils sont en général rigides et peuvent enfermer les opérateurs dans un mode de fonctionnement qui, à la longue, peut devenir une source d'infirmité, en bloquant la vicariance nécessaire à la mise en oeuvre des mécanismes d'adaptation humains aux situations nouvelles (Rasmussen, 1986).

- En second lieu, la démarche ergonomique amène à s'intéresser à *des situations complexes*. Or, qu'il s'agisse de l'Intelligence Artificielle (IA) ou de la Psychologie, on connaît bien les écueils rencontrés par des approches académiques, lorsqu'elles sortent du laboratoire. Des théories parfaitement satisfaisantes dans des situations simples peuvent se révéler d'une validité écologique fort limitée (et, donc, d'une pertinence réduite) lorsqu'on les applique à des situations complexes. Plus particulièrement, l'étude de modules (composantes de l'activité) pris isolément néglige trop souvent l'importance des effets d'interaction avec d'autres modules dans des situations réelles. Le travail n'est pas seulement un lieu d'application de connaissances élaborées dans les laboratoires, c'est aussi un lieu d'élaboration de connaissances nouvelles, impossibles à obtenir dans des

situations trop simples. Par exemple, la Psychologie Cognitive s'est exclusivement intéressée à l'activité individuelle. Or les situations de travail ne sont pas des situations individuelles. Leur complexification croissante, due notamment aux possibilités informatiques de contrôle de plus en plus fin d'un nombre croissant de paramètres (par exemple dans le contrôle de processus industriels), a introduit des exigences accrues de communication : le travail est collectif. Les approches cognitives de l'Ergonomie, d'abord limitées à l'opérateur isolé, tentent progressivement d'étudier des activités collectives, comme par exemple la prise de décision partagée (Samurçay & Rogalski, sous presse). Les activités cognitives interagissent également avec des contraintes d'ordre affectif ou d'ordre physiologique, comme on l'a vu plus haut.

- En troisième lieu, l'étude des situations de travail met bien en évidence les limitations de la Psychologie et de l'IA dans l'approche des activités cognitives en situation de travail. Ces disciplines, spécialistes des formes de connaissances et des stratégies de leur mise en oeuvre, ne sont pas spécialistes des *contenus* de ces connaissances. Or les propriétés de ces contenus doivent être sérieusement analysés pour juger de la pertinence des conceptualisations et des formalisations adoptées dans les modèles. L'interaction entre l'Informatique et la Psychologie est souvent insuffisante pour la conception de systèmes hommes-logiciels adéquats, encore faut-il établir des liens avec les disciplines spécialistes des domaines des tâches considérées. On parle souvent de l'extraction des connaissances de l'expert, mais il s'agit bien quelquefois d'une réelle analyse des contenus de connaissance avec le concours de l'expert et avec ses propres méthodologies. Bien entendu, cette question peut se poser de façon moins cruciale quand on développe des recherches dans des domaines connus, tels que la résolution de problèmes arithmétiques par exemple (encore que Vergnaud, dans ce volume, montre bien que ce que l'on croit connaître n'est pas toujours si connu que cela). Cette analyse des contenus de connaissance ne se limite pas aux connaissances académiques, elle porte sur des représentations opérationnelles, étroitement liées à des objectifs d'action et organisées en *Systèmes de Représentation et de Traitement* spécifiques, couvrant des domaines qui recouvrent des ensembles étendus de tâches (Hoc, 1987).

Dans ce chapitre, on se limitera à la présentation de recherches sur les activités professionnelles *de résolution de problème*, c'est-à-dire celles qui sont pertinentes au traitement de situations *nouvelles* ou partiellement nouvelles. Bien entendu, ce qui fait la nouveauté d'une situation dépend de l'opérateur qui doit la traiter : le concept de problème se rapporte à *l'interaction entre un sujet et une tâche* et non pas à une tâche en soi. Une stratégie (ou un problème) est généralement une structure *composite*, que les recherches amènent à les décomposer en composantes de base. Ces composantes peuvent alors être étudiées, tour à tour, séparément ou du point de vue de leurs interactions.

Elles fournissent une base heuristique à une classification de situations typiques de résolution de problème, dont la combinaison permet de rendre compte des situations composites que l'on rencontre habituellement (Hoc, 1987) :

- des situations de transformation d'environnements statiques (sous contrôle entier du sujet) ou dynamiques (sous contrôle partiel) ;
- des situations de diagnostic et de prise de décision ;
- et des situations de conception.

En conformité avec le style des contributions de cet ouvrage, on insistera davantage sur les aspects plus directement liés aux travaux de l'Equipe de Recherche de l'auteur, qui seront néanmoins placés dans un cadre plus général.

2. LES SITUATIONS DE TRANSFORMATION

Bon nombre de tâches professionnelles consistent à transformer un produit. La secrétaire est amenée à éditer des textes, l'opérateur de contrôle de processus à assurer la quantité et la qualité d'un produit élaboré à partir de matières premières. Toutefois, deux classes de situations doivent être distinguées, d'un point de vue cognitif : des situations statiques et des situations dynamiques.

Dans les situations *statiques*, l'objet de l'activité de l'opérateur ne change que sous l'effet de cette activité. Les connaissances de l'opérateur sur sa propre action peuvent donc lui servir de support privilégié et son point de vue peut être entièrement égocentré. Par exemple, une fois les règles d'utilisation d'un logiciel de traitement de texte acquises, l'édition d'un texte se déroule entièrement sous le contrôle de l'utilisateur.

Dans les situations *dynamiques*, au contraire, l'objet de l'activité de l'opérateur se transforme indépendamment de l'activité de l'opérateur, même si cette activité peut infléchir cette transformation. Les situations de contrôle de processus industriels automatisés constituent des exemples typiques de telles situations dynamiques, où l'opérateur doit articuler des connaissances sur ses buts et ses actions propres et des connaissances sur le fonctionnement du processus, indépendamment de son action.

2.1. Les situations statiques

Bon nombre de recherches actuelles en psychologie ergonomique, dans ces situations, portent sur l'utilisation de logiciels, notamment les éditeurs de texte, sur lesquels les travaux ont été abondants. Les problèmes de transformation d'états dont il est question se

caractérisent principalement par *l'adaptation de procédures connues à des dispositifs nouveaux*.

Après Moran (1981), les problématiques s'attachent à traiter de la relation triadique entre les représentations évoquées par l'utilisateur dans les tâches examinées, les contenus et les expressions des langages de commande. Cette décomposition est nécessaire dans ces situations où les tâches réalisées à l'aide des logiciels ne sont pas souvent des tâches informatiques. Elles appartiennent à d'autres domaines - la composition de textes, la gestion, la comptabilité, etc... - et les représentations qu'elles suscitent chez l'utilisateur se distinguent souvent de celles que véhiculent les logiciels ou les langages de programmation. Les recherches abondantes en psychologie de la programmation informatique montrent combien l'articulation entre divers Systèmes de Représentation et de Traitement y est centrale (Hoc et al., 1990).

Les langages de commande définis dans les logiciels ne doivent pas être considérés du strict point de vue de leur présentation manifeste, sous la forme d'expressions perceptibles. Ces expressions renvoient à des contenus définis au moment de la conception du logiciel. Les unités à manipuler par l'utilisateur ne sont donc pas seulement des expressions, mais des signes, c'est-à-dire des unités "expression-contenu". Il convient alors d'examiner aussi les relations introduites par le langage entre expressions et contenus, ce qui relève d'une approche *sémiologique*. La structure des représentations chez l'utilisateur peut être très différente de la structure des contenus du langage.

Cette question a été abordée à l'origine du point de vue de la structure des procédures, à la suite du modèle GOMS de Card et al. (1983). Pour concevoir et évaluer des logiciels, on a d'abord tenté de décrire les procédures des utilisateurs potentiels sous la forme de règles de production et d'ATN (Kieras & Polson, 1985). On décrivait conjointement les procédures d'utilisation du logiciel sous la même forme et on comparait les descriptions pour prédire des difficultés d'apprentissage (nombre de règles nouvelles à apprendre, par exemple) ou d'utilisation (en termes de complexité des règles, notamment). On s'appuyait donc sur des modèles de *performance*, par ailleurs assez peu résistants à la complexité des logiciels réels. C'est alors vers des modèles de *compétence* que l'on s'est tourné, avec l'approche dite des *grammaires tâche-action*, qui vise à structurer les grammaires des langages de commande du point de vue des utilisateurs (Green et al., 1988). Etant donné un langage particulier, il y a de multiples façon de formuler la grammaire de ce langage. On cherche alors à faire choix de la formalisation qui reflète au mieux la façon dont l'utilisateur se représentera ce langage. L'accent est notamment mis sur la construction de grammaires hiérarchisées, formées d'un petit nombre de règles générales, dont les règles

de niveau le plus bas sont des particularisations. En d'autres termes, il s'agit de rechercher des règles sans exceptions.

Une attention toute particulière est donc accordée à la *sémantique de l'action*, qui vise à modéliser par des schémas les connaissances des utilisateurs sur des catégories d'actions (Richard, 1990). Si ces approches permettent de rendre compte des restructurations réalisées dans des procédures, elles ne s'attachent pas à décrire les modifications concomitantes de la structure des objets manipulés par ces procédures. En programmation informatique, par exemple, une part non négligeable de l'activité consiste à faire choix de structures de données adéquates. C'est vrai de la programmation procédurale, c'est d'autant plus vrai des nouvelles formes de programmation plus déclaratives (Hoc et al., 1990).

Une autre perspective de recherche est également très vivante dans le domaine de l'apprentissage de l'utilisation des logiciels, qui s'attache à décrire des mécanismes d'apprentissage par *analogie*. Elle s'appuie sur les formalisations précitées, en cherchant à définir des situations dans lesquelles l'utilisateur peut, à la fois utiliser des analogies avec des situations connues et trouver les éléments nécessaires à la correction des analogies fallacieuses (Wærn, 1989). De nombreux travaux mettent en évidence le rôle négatif de l'analogie dans l'utilisation d'un dispositif informatique - machine sous-jacente à un langage de programmation ou à un logiciel - en ce qu'elle produit des erreurs. L'analogie est en réalité une démarche efficace qui permet, devant un nouveau domaine, de mettre en oeuvre des connaissances de haut niveau, élaborées dans un Système de Représentation et de Traitement déjà construit pour un autre domaine, afin d'éviter des démarches ascendantes fastidieuses.

La question centrale pour la recherche dans ce domaine n'est pas de trouver les conditions d'évitement de l'analogie, ni même des erreurs commises, puisqu'il s'agit d'un mécanisme assimilateur central dans l'adaptation aux situations nouvelles. Elle doit être plutôt de comprendre les conditions dans lesquelles le sujet est capable d'exploiter ses erreurs pour faire jouer jusqu'au bout le mécanisme d'adaptation, en y adjoignant les accommodations nécessaires. Les travaux montrent que l'analogie commence par un simple transfert, introduisant une confusion entre une entité (objet ou procédure) d'un domaine avec une entité correspondante dans un autre domaine. Mais ce n'est qu'au prix d'une distinction entre les entités que le transfert deviendra réellement analogique, ces entités n'étant réellement confondues qu'au niveau d'une entité super-ordonnée.

2.2. Les situations dynamiques

L'étude des situations dynamiques qui changent sans que l'opérateur n'intervienne (ex : contrôle de processus industriel) n'est pas nouvelle, mais connaît actuellement un regain d'intérêt du fait d'une informatisation grandissante du secteur secondaire (Hollnagel et al., 1988 ; Hoc, 1989a). Ces situations présentent une grande variété et il convient d'abord de caractériser leurs différences sur plusieurs dimensions, afin de déterminer la portée de généralité des travaux réalisés. Pour illustrer ces différences, on opposera le contrôle de la trajectoire d'un gros navire (le processus est dynamique, puisque le navire se déplace sous l'effet du vent et des courants) et celui d'un haut fourneau (réduction du minerai en fer fondu : la fonte) :

- L'étendue du champ de contrôle.

L'opérateur peut avoir des possibilités plus ou moins étendues d'action et de prise d'information sur les variables essentielles du processus. Quand le champ est restreint, les anticipations certaines sont limitées. En général, les vents et courants sont bien connus du pilote, tandis que la composition chimique des matières enfournées dans un haut fourneau est évaluée avec un certain degré d'imprécision. Dès lors, la mise à jour régulière d'une représentation de l'état ou de l'évolution du processus est particulièrement cruciale. De plus, certaines anticipations sont effectivement réalisées avec un certain degré d'incertitude, de sorte qu'elles sont souvent d'abord schématiques, avant de se préciser à mesure que le processus se déroule. Dans le cas du haut fourneau les représentations schématiques structurent fortement l'activité de supervision, plus que l'organisation matérielle de la présentation des paramètres du système (Hoc, 1989b). Elles portent sur le déroulement de phénomènes internes à l'installation, correspondant à des points de vue différents sur le processus : mécanique, chimique, thermodynamique, etc... L'étendue du champ de contrôle, comme les autres dimensions dont il est ici question, n'est pas seulement une caractéristique de la tâche, mais une caractéristique de la situation d'interaction entre l'opérateur et la tâche. Par exemple, dans la régulation de trafic de bus, Mariné et al. (1988) ont montré que l'expertise se traduit par un accroissement du champ spatio-temporel pris en compte.

- La proximité du contrôle et les délais de réponse.

L'action de l'opérateur peut lui permettre d'exercer un contrôle plus ou moins direct des variables essentielles. Le pilote peut agir assez directement sur la trajectoire par des ordres de barre, le conducteur de haut fourneau ne peut affecter directement une variable aussi cruciale que la température de la fonte (certaines actions ne vont avoir d'effet sur cette

variable que huit heures plus tard). Quand le contrôle est distant et que les délais de réponse sont longs, l'anticipation et la planification jouent un rôle primordial. La planification ne porte pas seulement sur l'organisation des actions de l'opérateur, mais aussi sur la dynamique du processus lui-même. La modélisation de ce type de mécanisme peut passer par l'analyse de situations de formation d'opérateurs à des méthodes de raisonnement, dont les difficultés de mise en oeuvre sont des indicateurs utiles à la correction des modèles, comme le montre une recherche sur la gestion de crise en Sécurité Civile (Samurçay & Rogalski, 1988).

- L'accessibilité des informations sur le processus.

Les informations sur le déroulement du processus peuvent être plus ou moins directement accessibles. Lorsque les variables essentielles ne peuvent pas être évaluées directement, mais seulement par l'intermédiaire de symptômes, il faut avoir recours à des inférences et des tests d'hypothèse, relevant des activités de diagnostic, traitées dans le paragraphe suivant. L'information sur la trajectoire d'un navire est assez directe (encore que la perception visuelle des déplacements lents reste limitée : Péruch et al., 1984), celle concernant les phénomènes internes au haut fourneau est indirecte, faute d'instruments de mesure supportant de hautes températures (Hoc, 1989b).

- Les processus continus et discontinus.

Les deux exemples cités (pilotage de navire et conduite de haut fourneau) correspondent à des processus continus, en ce sens que les variables décrivant le processus ne sont pas discrétisées par la plupart des opérateurs, qui se représentent moins des états et des transformations discrètes que des évolutions et des transformations continues. Dans la conduite de haut fourneau, l'efficacité des stratégies est corrélée avec l'utilisation de représentations d'évolution (Hoc, 1989b). Différents modes de représentation des évolutions peuvent être mis en évidence :

- des représentations qualitatives en termes d'*états dynamiques*, intégrant à la fois des caractéristiques statiques du processus (valeurs moyennes sur des empanns temporels variés) et des caractéristiques dynamiques (dérivées et accélération), proches de celles utilisées par la Physique Qualitative, comme le montre une recherche de Kuipers & Kassirer (1984) sur le diagnostic médical ;

- des représentations en termes de *courbes*, mais qui ne peuvent prendre leur sens que dans un cadre interprétatif ;

- et des représentations de *phénomènes évolutifs*, comme c'est le cas dans la recherche citée sur le haut fourneau.

Par rapport aux travaux développés dans le cadre des environnements statiques, ces recherches mettent l'accent sur la multiplicité des systèmes de représentation des connaissances, mis en oeuvre dans ces situations (Baudet & Denhière, 1990 ; Brajnik et al., 1989), qui peuvent porter sur :

- Les lois physiques et chimiques (*causalité*) pertinentes à l'approche des phénomènes en jeu.

Elles sont souvent requises au cours de l'analyse des marches dégradées peu maîtrisées, où le fonctionnement du processus s'écarte des objectifs qui lui ont été assignés par le concepteur. En ce cas, la cohérence introduite dans la conception de l'installation ne permet plus de comprendre ce qui se déroule. On obtient plus volontiers l'explicitation de ces connaissances profondes dans des situations de justification ou de planification, comme Alengry (1987) y est parvenu dans une recherche sur les connaissances d'opérateurs de conduite de centrale nucléaire.

- Les *fonctions* que réalise le processus.

Elles ont été mises en oeuvre par les composantes matérielles de l'installation. Généralement, la décomposition en composantes ne correspond pas exactement à la décomposition fonctionnelle, une même fonction pouvant être réalisée par plusieurs composantes. Une aide à la mise en correspondance de ces décompositions s'avère nécessaire.

- Les *transformations* du produit qui se déroulent dans l'installation.

Il s'agit là d'un niveau de description plus détaillé et plus procédural que celui des fonctions.

- La *topographie* de l'installation.

Elle est représentée en salle de contrôle par des synoptiques, informatisés ou non, qui permettent de localiser les composantes et de faire apparaître leurs liaisons (flux de matière, d'énergie ou d'information, par exemple). Certaines stratégies de diagnostic s'appuient sur de telles représentations (Rasmussen, 1986), comme on le verra au paragraphe suivant.

Les recherches en cours mettent l'accent sur les dangers d'enfermer l'opérateur dans l'un de ces systèmes de représentation. Elles conduisent à la fois à élaborer des connaissances sur les propriétés de chacun de ces types de systèmes et à traiter de leurs mises en relation dans le déroulement de l'activité, pour produire des modes de présentation d'information appropriés et les transitions nécessaires de l'un à l'autre (Rasmussen, 1986).

L'ensemble de ces recherches sur la supervision d'environnements dynamiques donnent lieu à des tentatives de modélisation de l'opérateur humain, susceptibles d'orienter les concepteurs vers des aides efficaces à l'opérateur, par exemple pour la conduite de centrale nucléaire ou d'avions de combat (Amalberti & Deblon, sous presse).

3. LES SITUATIONS DE DIAGNOSTIC ET DE PRISE DE DECISION

Les recherches sur le terrain, dans le domaine du diagnostic, présentent une originalité remarquable par rapport aux recherches plus expérimentales de laboratoire, en ce qu'elles traitent le diagnostic en lien étroit avec la prise de décision et l'action (Rasmussen, 1986). Cette conception fait apparaître des propriétés du diagnostic autrement négligées et permet de mieux établir le développement des aides au diagnostic en les intégrant étroitement aux aides à la prise de décision.

Dans les situations complexes, la compréhension du dysfonctionnement est rarement l'objectif central de l'opérateur. Il s'agit le plus souvent de prendre une décision d'action sous contraintes de temps plus ou moins fortes. C'est alors que le niveau de compréhension exigé pour la décision peut être relativement minimal, quitte à ce qu'une analyse plus approfondie soit menée, après décision d'une action urgente préservatrice de l'intégrité du processus et de sa sécurité, pour obtenir une correction définitive. Souvent, du reste, le caractère relativement flou des connaissances sur le processus en situation d'incident n'autorise pas une compréhension approfondie des phénomènes en jeu.

Le lien entre le diagnostic et la prise de décision, autant que les différents niveaux de diagnostic, est explicitement pris en compte dans l'architecture cognitive proposée par Rasmussen (1986). Dans cette architecture, différentes profondeurs d'analyse sont prévues, depuis la simple détection de conditions anormales, jusqu'à l'interprétation des conséquences sur les buts du système. A partir des résultats de cette analyse, une planification plus ou moins approfondie de l'action est envisagée, depuis le choix d'un but à atteindre, jusqu'à l'exécution d'une procédure. Entre ces deux versants de l'activité, divers courts-circuits sont possibles, qui rendent compte de l'automatisation de l'activité experte. Néanmoins, des rétroactions entre l'intervention et le diagnostic doivent être également introduites : les diagnostics envisagés s'avèrent fortement dépendants des répertoires d'intervention disponibles chez les opérateurs, comme on l'a montré dans la conduite de haut fourneau (Hoc & Samurçay, sous presse).

Dans ce cadre, diverses stratégies de diagnostic ont pu être décrites (notamment par Rasmussen, 1986). Elles se répartissent en deux grandes catégories :

- Les unes s'appuient sur des connaissances du *fonctionnement normal* d'une installation. Elles sont guidées tour à tour par la structure matérielle d'une installation, ainsi que des flux qui la parcourent (*recherche topographique*), et par sa structure fonctionnelle qui n'est pas toujours superposable à la première (*recherche fonctionnelle*). Dans tous les cas, la sortie observée d'une composante ou d'une fonction est comparée à la sortie attendue au cours d'un fonctionnement normal.

- Les autres font appel à des connaissances sur les *dysfonctionnements* de l'installation (*recherche symptomatique*), par la reconnaissance de configurations, la recherche dans une table de décision associant syndromes et symptômes ou la recherche hypothético-déductive.

Là encore, une conception relativement statique du diagnostic, telle qu'elle prévaut dans le domaine du dépannage, est enrichie par une conception plus dynamique, dans le cas d'incidents de marche d'un processus (Hoc, 1989a). La prise de décision peut ne pas s'établir sur la défection d'une composante localisée de l'installation, mais sur le développement d'un phénomène évolutif qu'il faut corriger par des interventions sur des variables qui entrent dans la causalité du phénomène. Quelquefois même, l'identification du phénomène peut conduire à diagnostiquer une dérive à caractère transitoire, qui rend inopportune une décision d'intervention, le phénomène pouvant disparaître de lui-même. Les recherches déjà abondantes dans le domaine du dépannage s'enrichissent alors d'approches nouvelles du diagnostic et du pronostic d'évolutions, dans un cadre causal (Hollnagel et al., 1988).

Si les aides au diagnostic et à la prise de décision représentent un domaine de recherche et d'application privilégié de ces travaux, les perspectives en matière de formation des opérateurs ne doivent pas être négligées (Patrick & Duncan, 1988). Tout développement de système d'aide doit être considéré en relation à des problématiques de formation des opérateurs. C'est ainsi que l'on cherche à déterminer l'équilibre optimal qu'il faut introduire entre la transmission de connaissances sur le fonctionnement des processus et l'acquisition de stratégies de diagnostic efficaces. On s'interroge même quelquefois sur la pertinence d'une approche centrée sur l'enseignement de stratégies, celles-ci pouvant être considérées comme d'ores et déjà acquises. Dans le cas du haut fourneau, une recherche récente montre que l'expertise ne se traduit pas par la mise en oeuvre de stratégies de diagnostic différentes, mais sur la nature des représentations et des hypothèses manipulées (Hoc, sous presse). La question centrale pourrait être de créer les conditions de mise en oeuvre efficace de ces stratégies, soit au niveau des connaissances requises, soit au niveau de la présentation des informations pertinentes à cette mise en oeuvre.

4. LES SITUATIONS DE CONCEPTION

La résolution de problème de conception a souvent été classée sous le thème de la résolution de problèmes mal définis. En réalité, tout problème est, par définition, plus ou moins mal défini, au sens où la représentation que le sujet a de la tâche est insuffisante à évoquer une procédure qui mène au but. Dans le cas de la conception, le but lui-même est mal défini et le concepteur va s'efforcer de le définir progressivement, de sorte que l'activité de conception s'arrêtera avec une définition adéquate et précise du but (par exemple, un plan d'architecte).

Avant de parvenir à une telle définition, le concepteur manipule des *représentations schématiques*, qui sont progressivement détaillées dans les termes du but à atteindre. La schématisation est au centre des activités de planification, que l'on a trop tendance à réduire à la seule anticipation (Hoc, 1987). Un *plan* est une représentation qui guide l'activité, sans pour autant qu'il soit mis en oeuvre tel quel. Un bon exemple est donné par les plans de vol établis avant une mission par des pilotes de combat (Amalberti & Deblon, sous presse) : ils sont très détaillés, mais ils ne servent que de référence pour des recalages subséquents au traitement d'événements imprévus au cours de l'exécution des missions, qui peuvent s'en écarter notablement.

La recherche, dans ce domaine, porte :

- sur la façon dont les *contraintes initiales*, trouvant leurs sources dans des Systèmes de Représentation et de Traitement (SRTs) divers (points de vue fonctionnel, financier, etc. .), sont articulées et traduites dans le système de représentation cible (plan d'architecte, langage de programmation, dessin technique, etc...).

La plupart des situations de conception amènent à mettre en oeuvre des SRTs différents, la solution devant être définie dans un SRT unique. Par exemple, en programmation informatique, le programme répond à un problème qui est initialement posé dans un domaine étranger à l'informatique. Du reste, l'expertise en programmation ne s'évalue pas seulement par les connaissances du programmeur en informatique, mais également dans les domaines des problèmes qu'il a à traiter. Il en va de même pour un architecte, qui doit prendre en compte des contraintes techniques ; que l'on pense par exemple à la conception d'une usine ou d'un immeuble de laboratoires.

- sur la façon dont de *nouvelles contraintes* sont introduites en cours de conception, dans la mesure où les contraintes initiales sont insuffisantes à définir univoquement l'objet à concevoir.

La formalisation de l'activité de conception en termes de contraintes, introduite en IA par Stefik (1981), s'avère relativement adéquate pour modéliser les stratégies humaines (Darses, sous presse). Les représentations évoquées par les concepteurs au cours de leur activité se partagent entre des expressions de contraintes et des expressions d'objets (ou solutions) satisfaisant ces contraintes. Les objets sont construits à différents niveaux de schématisation et servent de base à la simulation d'hypothèses exprimées en termes de contraintes (Lebahar, 1983). Toutefois, ils n'expriment jamais la totalité de la représentation que le concepteur a élaborée à un moment donné de son activité : leur expression traduit le besoin qu'éprouve le concepteur d'aider sa gestion d'information en mémoire de travail. Une distinction essentielle est introduite entre des contraintes de validité, qui doivent obligatoirement être satisfaites pour que l'objet soit acceptable (ex : la résistance des matériaux), et des contraintes de préférence (ex : l'esthétique). Une récente expérience sur la conception de réseaux informatiques montre que l'expertise se traduit par des capacités plus grandes à différer la satisfaction des contraintes de préférence, ce qui traduit une meilleure gestion de ces contraintes en mémoire de travail et l'évitement de conflits entre contraintes (Darses, sous presse).

- sur la nature des *représentations schématiques* qui constituent des plans susceptibles de guider l'intégration et l'introduction des contraintes.

De nombreuses recherches, dans divers domaines où ont été développées des aides à la conception (conception de textes, de logiciels, de bâtiments, etc...) font apparaître clairement les effets néfastes de ces logiciels d'aides, qui ne permettent pas de traiter les représentations schématiques des concepteurs (Hoc, 1987). La plupart du temps, l'utilisation du logiciel n'est possible que lorsque la phase de conception proprement dite est achevée, c'est-à-dire lorsque l'on peut introduire une représentation déjà très détaillée de l'objet. Les effets néfastes se traduisent par un court-circuit de la phase de conception et des stratégies qui s'apparentent plus à celles des débutants que des experts. Des progrès en ce domaine ne peuvent être espérés qu'au prix d'une meilleure prise en considération des résultats de recherche en Psychologie sur la nature des représentations schématiques utilisées par les concepteurs. Toutefois, dans de nombreux domaines, ces recherches n'en sont qu'à leurs débuts.

- enfin, sur l'*articulation* entre des démarches *descendantes* (qui vont des plans schématiques à des solutions concrètes) et des démarches *ascendantes* (qui permettent d'élaborer de nouveaux plans à partir d'éléments de solution).

A l'instar de la programmation informatique, une approche purement descendante de l'activité de conception a longtemps prévalu en Intelligence Artificielle. Le développement des approches "*opportunistes*", ayant recours au principe du "*tableau noir*", répond mieux à la nécessaire articulation entre des démarches ascendantes et descendantes dans la

planification (Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1979). Ce n'est qu'en créant les conditions favorables à une telle articulation que l'on peut favoriser la mise en oeuvre des mécanismes adaptatifs humains. L'aide exclusive aux démarches descendantes, par raffinements successifs, sans autoriser facilement des remises en question de plans, peut conduire à des solutions peu optimales et à l'impossibilité de traiter les interactions entre sous-problèmes (Hoc, 1987).

CONCLUSION

La Psychologie Cognitive Ergonomique s'efforce donc de définir *des modèles d'opérateurs* dans des situations souvent complexes. La finalité qu'elle se donne d'orienter la conception d'aides à l'activité l'encourage à adopter une démarche plus *explicative* qui permette de se prononcer sur les conditions dans lesquels ces modèles sont valides. Certes, certaines démarches empiriques visant à définir des aides sans ancrage théorique peuvent être fructueuses, mais la généralisation des résultats nécessite d'atteindre un niveau explicatif. Il s'agit de comprendre par quels mécanismes les effets bénéfiques constatés se produisent. On est alors amené, non seulement à décrire les activités cognitives, mais aussi à se prononcer sur leurs conditions de mises en oeuvre. C'est la réalisation de ces conditions qui constituera une aide à ces activités. Toutefois, des expérimentations sur des aides logicielles existantes peuvent présenter un réel intérêt heuristique. Tout logiciel véhicule implicitement un modèle de son utilisateur et les difficultés d'utilisation observées peuvent être utilisées pour améliorer ce modèle ou conduire vers d'autres modèles plus valides.

La problématique de l'aide cognitive à l'activité va toutefois plus loin que la recherche de ses conditions de mise en oeuvre. En effet, la perspective ergonomique vise à optimiser l'interaction entre l'opérateur et son environnement social ou technique. En cherchant à améliorer les conditions de travail, on est amené à intervenir à la fois sur des conditions *externes* à l'opérateur (organisation du travail, développement d'outils informatiques, etc...) et sur des conditions *internes* (formation notamment). Dans tous les cas, l'introduction d'une aide est source de restructuration de l'activité, qui s'en trouve affectée. Les critères utilisés dans la conception d'une situation nouvelle et dans son évaluation ne relèvent pas que de la Psychologie Cognitive ou de l'Informatique. Il faut aussi les trouver dans les *domaines de connaissances* qui donnent un sens aux activités de travail. Les stratégies cognitives les plus efficaces dans une situation donnée ne sont pas toujours celles qui sont effectivement mises en oeuvre par les opérateurs. C'est pourquoi toute recherche à visée ergonomique doit s'appuyer sur un corps de connaissances pluri-disciplinaires.

Le développement de recherches à validité écologique, c'est-à-dire créant des connaissances applicables en situation réelle, doit assurer le lien entre les observations ou les expériences et les situations-cibles. Le plus souvent de telles recherches sont menées sur le terrain, en accordant une place prépondérante à l'analyse du travail réel, qui fonde les réductions ou simulations expérimentales dans lesquelles les hypothèses élaborées sont testées. Elles bénéficient des résultats de recherche obtenus par des recherches plus académiques, mais, en retour, elles apportent elles aussi des connaissances fondamentales obtenues dans des situations complexes. Certains mécanismes ne peuvent s'observer que dans des *situations complexes irréductibles*. C'est pourquoi, face au développement des nouvelles technologies, il ne faut pas espérer pouvoir résoudre les problèmes qui se posent et se poseront dans l'avenir par des approches purement expérimentales de laboratoire. C'est vrai de la Psychologie, c'est aussi vrai de l'Informatique et de l'Intelligence Artificielle : certains principes de conception de systèmes artificiels ou de modèles humains peuvent s'avérer très productifs dans des situations de complexité restreinte et invraisemblables dans des situations complexes.

Parmi les nombreuses sources de complexité des situations réelles, il faut situer au premier plan l'intervention de *facteurs non reproductibles au laboratoire*. Dans le contexte académique, il est aisé de faire abstraction, par exemple, des relations sociales ou des phénomènes affectifs, pour étudier la cognition individuelle à l'état presque pur. Mais il devient très difficile de se satisfaire de ces abstractions dans des contextes où les activités cognitives rentrent clairement en interaction avec d'autres sources de déterminisme. S'agissant de nouvelles technologies, on constate notamment que le point de vue du travail collectif s'impose, là où le point de vue d'une activité individuelle perd de sa pertinence. De même, l'accroissement des automatismes techniques est une source de dépossession du contrôle direct des processus de production, ce qui génère des conditions de travail sous stress, dont on connaît encore mal les mécanismes et les effets.

Les développements futurs d'une informatique "intelligente", susceptible, non seulement de présenter de l'information élaborée, mais aussi d'interagir avec l'opérateur humain au niveau des traitements cognitifs, ouvrent la voie à une analyse de la *"coopération homme-machine"*, qui devrait être plus qu'une étiquette publicitaire. Ce n'est plus en concevant la machine comme un prolongement des facultés humaines individuelles que l'on peut traiter valablement ce type de coopération. Il est probable qu'une meilleure connaissance de la coopération cognitive homme-homme pourrait être de nature à éclairer ces questions posées par la coopération cognitive homme-machine. Il s'agit là d'un thème en émergence qui connaîtra des développements importants dans les années à venir.

BIBLIOGRAPHIE

- Alengry, P. (1987). The analysis of knowledge representation of nuclear power plant control room operators. In H.J. Bullinger & B. Shackel (Eds). *Human-Computer Interaction - INTERACT'87*. Amsterdam, North-Holland, 209-214.
- Amalberti, R., Deblon, F. (sous presse). Cognitive modelling of fighter aircraft's process control: a step towards an intelligent onboard assistance system. *International Journal of Man-Machine Studies*.
- Baudet, S. & Denhière, G. (1990). Mental models and acquisition of knowledge from text: representation and acquisition of functional systems. In G. Denhière & J.P. Rossi (Eds). *Text and text processing*. Amsterdam, North-Holland.
- Brajnik, G., Guida, G., Tasso, C., Toppano, E. (1989). The use of many diverse models of an artifact in the design of cognitive aids. *Proceedings of the 2nd European Meeting on Cognitive Science Approaches to Process Control*. Siena (Italy), 69-79.
- Card, S.K., Moran, T.P., Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale (N.J.), Erlbaum.
- Darses, F. (sous presse). An assessment of the constraint satisfaction approach for design: a psychological investigation. *Acta Psychologica*.
- Goodstein, L.P. (1983). An integrated display set for process operators. In G. Johannsen & J.E. Rijnsdorp (Eds). *IFAC*. Oxford, Pergamon.
- Green, T.R.G., Schiele, F. & Payne, S.J. (1988). Formalisable models of user knowledge in human-computer interaction. In G.C. Van der Veer, T.R.G. Green, J.M. Hoc & D. Murray (Eds.). *Working with computers: theory versus outcome*. London, Academic Press, 3-46.
- Hayes-Roth, B., Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, 3, 275-310.
- Hoc, J.M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble, PUG.
- Hoc, J.M. (1989a). Cognitive approaches to process control. In G. Tiberghien (Ed). *Advances in cognitive science: Vol. 2: Theory and applications*. Chichester, Horwood, 178-202.
- Hoc, J.M. (1989b). Strategies in controlling a continuous process with long response latencies. *International Journal of Man-Machine Studies*, 30, 47-67.
- Hoc, J.M. (sous presse) Effets de l'expertise des opérateurs et de la complexité des situations dans la conduite d'un processus continu à longs délais de réponse : le haut fourneau. *Le Travail Humain*.
- Hoc, J.M., Green, T.R.G., Samurçay, R. & Gilmore, D. (Eds.) (1990). *Psychology of programming*. Londres, Academic Press.
- Hoc, J.M. & Samurçay, R. (sous presse). An ergonomic approach to knowledge representation. *Reliability Engineering and System Safety*.
- Hollnagel, E., Mancini, G. & Woods, D.D. (Eds.) (1988). *Cognitive engineering in complex dynamic worlds*. Londres, Academic Press.
- Kieras, D., Polson, P. (1985). An approach to the formal analysis of user complexity. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22, 365-394.
- Kuipers, B.J., Kassirer, J.P. (1984). Causal reasoning in medicine : analysis of a protocol. *Cognitive Science*, 8, 363-385.
- Lebahar, J.C. (1983). *Le dessin d'architecte*. Roquevaire, Editions Parenthèses.

Mariné, C., Cellier, J.M. & Valax, M.F. (1983) Dimensions de l'expertise dans une tâche de régulation de trafic : règles de traitement et profondeur du champ spatio-temporel. *Psychologie Française*, 33, 151-160.

Moran, T.P. (1981). The command language grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 3-50.

Patrick, J. & Duncan, K. (1988). *Training, human decision-making and control*. Amsterdam, North-Holland.

Péruch, P., Cavalle, V., Deutsch, C. & Fathoms, J. (1984). Real time graphic simulation of visual effects of egomotion. In G.C. Van der Veer, M.J. Tauber, T.R.G. Green & P. Gorny (Eds). *Readings on cognitive ergonomics*. Berlin, Springer-Verlag, 192-199.

Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam, North-Holland.

Richard, J.F. (1990). *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris, Colin.

Samurçay, R. & Rogalski, J. (1988) Analysis of operator's cognitive activities in learning and using a method for decision making in public safety. In J. Patrick & K. Duncan (Eds.) *Training, human decision and control*. Amsterdam, North-Holland, 133-152.

Samurçay, R. & Rogalski, J. (sous presse) Cooperative work and decision making in emergency management. *International Journal of Man-Machine Studies*.

Stefik, M. (1981). Planning with constraints. (MOLGEN; Part 1), *Artificial Intelligence*, 16, 111-140.

Warm, Y. (1989). *Cognitive aspects of computer supported tasks*. Chichester, Wiley.