

Jean-Michel HOC

L'EXTRACTION DES CONNAISSANCES ET L'AIDE À L'ACTIVITÉ HUMAINE

Introduction

En construisant des systèmes informatiques susceptibles d'interagir avec leurs utilisateurs dans des situations dont le traitement nécessite des capacités adaptatives étendues, on est souvent amené à s'inspirer des heuristiques humaines. Dans cette perspective, l'Intelligence Artificielle a développé un champ de recherche bien individualisé — l'extraction des connaissances (*knowledge elicitation*) — qui partage des traits communs avec les questions méthodologiques abordées la psychologie cognitive, quand elle s'efforce d'inférer des activités cognitives implicites à partir des comportements observables. Mais, d'un point de vue plus général, la conception de systèmes experts ou de systèmes à base de connaissances¹ ne se traduit pas seulement par la production de systèmes informatiques, mais aussi par la construction de systèmes hommes-logiciels. L'analyse de ce type de systèmes hommes-machines est un domaine propre à l'ergonomie cognitive, qui s'efforce de traiter des problèmes d'adaptation

¹ Dans la suite de ce texte, on utilisera le terme de *système expert* pour désigner tout système basé sur des heuristiques, susceptible de remplacer un expert humain.

réci-proque entre les hommes et les outils cognitifs, dans une perspective pluri-disciplinaire. L'extraction des connaissances apparaît alors comme une étape dans la conception et il convient de s'interroger sur les liens entre cette étape et l'objectif final de création de systèmes hommes-machines.

On n'entrera pas ici dans un exposé détaillé des méthodes, sur lesquelles la littérature des trois domaines de recherche est désormais abondante. On tentera plutôt de remonter aux raisons qui fondent ces méthodes et qui leur donnent leur sens. De même, on ne cherchera pas à définir avec précision des concepts aussi importants que ceux d'*expertise* ou de *connaissance*. A soi seule, une telle tentative nécessiterait un article entier. Néanmoins, on s'efforcera de préciser, au cours de l'exposé, le sens que l'on donne à des termes, aussi fréquemment utilisés qu'ils sont mal définis.

Parmi les diverses acceptions du terme *d'expert*, ce n'est évidemment pas au critique auquel on se réfère, mais à l'acteur. Il s'agit d'un opérateur humain qui a élaboré des connaissances spécifiques, certes en quantité souvent importante, mais surtout opérationnelles pour l'action dans un certain domaine de tâches et accessibles dans le contexte d'une activité professionnelle. Pour reprendre une opposition commune, les connaissances auxquelles on s'intéresse sont à la fois déclaratives et procédurales. Elles sont intégrées dans des *Systèmes de Représentation et de Traitement (SRTs)*, associés à des domaines de tâches à réaliser et non pas à contempler (Hoc, 1987). On se référera donc plus à l'activité d'un praticien qu'à celle d'un chercheur dans un domaine. C'est principalement ce caractère opérationnel des connaissances, qui les rendent difficiles d'accès, même à l'opérateur lui-même, dans la mesure où elles sont largement procéduralisées (Evans, 1988) ou seulement accessibles en situation. Par ailleurs, on rencontrera une autre difficulté, propre à tous les systèmes vivants : celle de la variabilité inter et intra-individuelle, qui doit toujours amener à nuancer l'usage du singulier pour parler d'opérateur ou d'expert humain.

Le plan de cette présentation ira des objectifs aux méthodes, en passant par les questions théoriques sous-jacentes, après avoir tenté de situer le problème de l'extraction, tel qu'il se pose dans les deux disciplines. L'examen des objectifs de l'extraction des connaissances permettra d'orienter sur la nature des connaissances dont on a besoin. Si ces connaissances sont bien celles qui sont mises en oeuvre par un expert humain dans son activité, alors il convient d'examiner un cadre théorique en psychologie cognitive susceptible d'en décrire la nature et le fonctionnement. C'est alors que les questions méthodologiques peuvent être traitées, en référence à ce cadre.

1. Le problème de l'extraction des connaissances en Psychologie et en Intelligence Artificielle

Cette question de l'accès aux connaissances opérationnelles est examinée depuis longtemps en psychologie cognitive ergonomique. Elle est cruciale dans la réalisation des buts de cette sous-discipline, qui consistent à rechercher les conditions de l'amélioration des conditions de travail. Ces conditions se traduisent en termes d'aides externes à l'activité des opérateurs humains et de besoins de formation à l'utilisation de ces aides. Il s'agit des méthodes d'analyse du travail dans des situations non conçues par l'observateur, notamment (mais non exclusivement) des méthodes de verbalisation (Bainbridge, 1979 ; Leplat & Hoc, 1981 ; Hoc & Leplat, 1983). La question intéresse aussi, bien évidemment, la Psychologie de l'Education, quand elle aborde le domaine de la formation professionnelle.

Les réflexions méthodologiques à propos de l'analyse du travail s'inscrivent dans une histoire récente de la Psychologie Cognitive, dont l'objet est moins le *comportement*, au sens des observables que l'on peut recueillir sur le sujet humain, que *l'activité*, qui intègre aussi bien les représentations et les traitements inobservables, dont le comportement est

l'indicateur (il s'agit là de l'un des apports importants de la théorie de l'intelligence proposée par Piaget, 1947). Ainsi, l'étude du comportement, nécessaire à toute approche scientifique de la cognition humaine, ne peut avoir de sens qu'en référence à des théories et des modèles, qui explicitent les inférences permettant d'interpréter le comportement en termes d'activité.

En s'intéressant à des activités de traitement de l'information symbolique, il est tentant de faire appel au comportement verbal, malgré la suspicion qui l'a entouré dans les débuts de la psychologie scientifique. Cette suspicion était principalement motivée par la crainte de voir se développer des activités d'introspection susceptibles de conduire à des reconstructions étrangères à l'exécution de l'activité-cible (Nisbett & Wilson, 1977). Diverses techniques de verbalisation, pendant l'exécution des tâches ou hors de cette exécution, avec ou sans confrontation du sujet aux traces comportementales de son activité (enregistrements vidéo ou autres), ont été développées et évaluées (Ericsson & Simon, 1984 ; Hoc, 1984 ; Caverni, 1988a). Ces travaux ont permis de mieux contrôler la validité des données verbales, par rapport à l'activité-cible et de lever des critiques justifiées. Toutefois, la verbalisation reste un comportement et nécessite des inférences pour reconstruire l'activité à laquelle elle se réfère, y compris l'activité de verbalisation elle-même.

Toute méthodologie n'a de sens que par rapport à une théorie qui définit la structure des objets analysés. Ainsi, conjointement à ces travaux sur l'analyse du travail ou le recours à la verbalisation, la psychologie ergonomique et la psychologie cognitive en général, se sont de plus en plus intéressées à la psychologie de l'expertise (Rasmussen, 1986 ; Hoc, 1987 ; Caverni, 1988b). Plus particulièrement, en ce qui concerne l'étude de la résolution de problème, les travaux réalisés sur les experts, s'ils n'ont pas contredit les données recueillies en laboratoire sur les stratégies, les ont du moins enrichies. Les expériences de laboratoire, en portant sur des situations à l'égard desquelles les sujets sont généralement peu familiers,

mettaient l'accent sur des stratégies susceptibles d'être développées lorsque les connaissances dans le domaine du problème sont limitées. Les travaux portant sur des experts ont décrit aussi des stratégies s'appuyant sur des connaissances étendues dans un domaine, comme c'est le cas de la planification, par exemple (Hoc, 1987).

Parallèlement à ces travaux psychologiques, dont le but d'élaboration et de validation empirique de modèles est central, l'Intelligence Artificielle a développé un champ de recherche sur la méthodologie d'extraction des connaissances, dont l'objectif de validation empirique est moins crucial. Il s'agit, pour faire court, de concevoir des systèmes "experts", au sens de logiciels capables de réaliser des tâches que l'on confie habituellement à un expert humain. La validation d'un tel système est obtenue surtout par sa performance, c'est-à-dire par son succès à résoudre les problèmes d'une certaine classe. Toutefois, il est rare que ces systèmes fonctionnent seuls, puisqu'ils doivent servir à des utilisateurs, de sorte que leurs performances ne dépendent pas seulement des connaissances que leurs concepteurs leur ont données, mais aussi des interactions avec leurs utilisateurs (Woods & Hollnagel, 1987). Par ailleurs, certains systèmes sont conçus avec la perspective de remplacer les experts humains, sans en être pour autant capables, ce qui conduit à un renversement de perspective : l'aide à l'opérateur doit être aidée par l'opérateur.

Ces questions difficiles, portant sur la conception, non plus d'un système informatique isolé, mais d'un système hommes-machines, de même que les problèmes méthodologiques d'accès à l'expertise, sont de plus en plus abordées par l'Intelligence Artificielle, en relation avec les approches de la psychologie cognitive (Boose & Gaines, 1987 ; Aussenac, 1989).

Les méthodes d'extraction qui sont développées dans ce champ de recherche de l'Intelligence Artificielle concernent presque exclusivement une catégorie bien particulière de problèmes, pour lesquels la construction de systèmes experts est une perspective raisonnable : les problèmes de classification.

Ce type de problèmes a été longtemps étudié par la psychologie cognitive sous cette appellation, mais aussi sous l'angle de la formation de concepts, de l'induction de structures ou de règles. En étudiant des activités professionnelles dans lesquelles ce type de problèmes se présentait (ex. : diagnostic médical, contrôle de processus industriel, etc.), la psychologie ergonomique a montré qu'il ne rendait compte que d'une composante d'une activité finalisée par une prise de décision (Rasmussen, 1986). Plus précisément, le fonctionnement de cette composante en interaction avec la prise de décision s'est avéré fort différent de son fonctionnement artificiellement isolé dans des tâches de laboratoire. Par exemple, le diagnostic médical peut n'être pas réalisé de la même manière dans le suivi d'un patient et dans un contexte académique. Dans le premier cas, il peut s'interrompre dès qu'il fournit la justification d'une décision thérapeutique. Dans le second cas, il devra être poursuivi jusqu'à la classification du cas dans une catégorie répertoriée.

On verra plus loin (§ 3.2) qu'une conception plus exhaustive des composantes de la résolution de problème pourrait être de nature à mieux traiter de leurs interactions, pour en tirer parti et, peut-être, par là aboutir à des systèmes plus efficaces.

II. Objectifs de l'extraction

S'il convient de s'interroger très tôt, au cours de la conception d'un système expert sur ce à quoi il va être utilisé (Salter, 1988), ce n'est pas seulement pour satisfaire des objectifs ergonomiques, c'est aussi pour déterminer à quel type d'expert humain se référer, quel type de théorie adopter et quelle méthodologie d'extraction mettre en oeuvre. Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut envisager au moins quatre types d'objectifs possibles, qui ne sont pas toujours totalement indépendants : la modélisation, l'enseignement, l'ergonomie et le développement d'une "prothèse" cognitive.

1. Construction d'un modèle de l'activité

L'un des points de rencontre entre la psychologie cognitive et l'Intelligence Artificielle, certainement le plus ancien (historiquement, lors de la construction du *General Problem Solver* : Newell et al., 1959), est la modélisation des processus humains de traitement de l'information.

Du point de vue de la recherche, l'utilisation, par la psychologie, des formalismes introduits par l'Intelligence Artificielle a conduit vers des modèles plus précis que les modèles conceptuels (Bonnet et al., 1986 ; Hoc & Nguyen-Xuan, 1987). Ceci ne veut pas dire cependant que les interactions entre les deux disciplines doivent exclusivement passer par les formalismes. C'est aussi au niveau conceptuel que les échanges peuvent être fructueux. Du reste, les formalismes actuels étant encore bien loin de permettre de reproduire la puissance des heuristiques humaines, il serait dangereux d'y enfermer la recherche. Les données empiriques de la psychologie permettent de construire des théories conceptuelles, qui ne manquent pas d'intérêt pour orienter la recherche vers de nouveaux formalismes, même s'il est impossible actuellement de formaliser correctement ces théories. Au coeur des relations entre les deux disciplines se situe en effet le problème crucial de la formalisation. Or, pour qu'il y ait formalisation, il faut certes un formalisme, mais il faut surtout un minimum de connaissance de la structure des objets à formaliser, afin d'évaluer la pertinence du formalisme.

Du point de vue des pratiques, qui conduisent le plus souvent à concevoir, non pas seulement des machines, mais des systèmes hommes-machines, cette rencontre entre disciplines a conduit à un langage commun. C'est une condition nécessaire pour maîtriser les tâches dans leur ensemble, en faisant communiquer les sous-tâches exécutées par l'opérateur et celles exécutées par la machine (Card et al., 1983). Mais il est une autre raison pour laquelle ce rapprochement est nécessaire et la modélisation du sujet humain utile dans la conception des systèmes experts

eux-mêmes. Bien entendu, on conçoit que l'informaticien ait à consulter un expert de la tâche qu'il veut faire réaliser par une machine, lorsqu'il n'en est pas lui-même expert. Ce n'est pas encore là la raison essentielle, qui porte directement sur les conditions d'utilisation du système. La plupart du temps en effet, c'est à un opérateur humain, dont l'expertise dans le domaine peut être variable, qu'il reviendra d'utiliser le système. Or c'est l'opérateur qui portera la responsabilité du succès ou de l'échec de l'exécution de la tâche. Il est alors crucial que les modes de raisonnement mis en oeuvre dans le système ne soient pas étrangers à ceux de son utilisateur.

Il faut donc envisager la conception d'un système expert, quel qu'il soit, en lien avec une modélisation de l'expertise humaine dans le domaine (de nature sociale et historique) et une modélisation de l'opérateur, même si ces modélisations ne doivent pas nécessairement se traduire en termes informatiques. C'est à ce propos que se pose la question de savoir quels sont les sujets humains dont il faut avoir bonne connaissance pour mener cette entreprise. S'agissant par exemple de la conception d'aide à la conduite de haut fourneau (Hoc, 1989a, 1989b), plusieurs types d'expertise participent à la conduite : celles des ingénieurs des services techniques, qui mènent des recherches sur le fonctionnement de l'installation, celles des ingénieurs de fabrication, celles des techniciens de maintenance, qui dépannent les automatismes, celles des conducteurs de salle de contrôle, etc. C'est probablement le point de vue de l'utilisateur, au sens des tâches qu'il doit réaliser, qui devrait primer dans le choix d'intégration de ces diverses expertises dans un système d'aide. On a, en quelque sorte, à traduire ces expertises dans des termes intelligibles pour cet utilisateur et à les présenter de façon opérationnelle en vue d'aider sa propre activité, en lien avec ses objectifs de prise de décision d'action.

2. Définition d'une séquence didactique

On envisage souvent qu'un système expert ne soit pas seulement un conseiller pour son utilisateur, mais aussi un formateur. On invoque alors

la possibilité offerte par certains systèmes experts d'expliciter leurs raisonnements, à la fois à des fins de vérification et de formation. Si la formation est un objectif sérieux du concepteur, il convient toutefois de s'interroger sur l'efficacité de ces systèmes en cette matière. Un bon exemple est donné par GUIDON (Clancey, 1983) qui a été associé à MYCIN (Shortliffe, 1974) pour satisfaire un tel objectif. Cette préoccupation est aussi au centre des travaux visant à représenter l'expertise pédagogique (Vivet, 1991).

Il ne suffit pas d'introduire une possibilité d'explicitation du raisonnement, encore faut-il s'interroger sur le type d'explication qui sera compréhensible pour l'utilisateur. En effet, si le système a été construit à partir du système de représentation et de traitement (SRT) d'un expert, le raisonnement dans ce système peut être difficilement intelligible pour un débutant. Il y a deux raisons à cela :

- Le débutant ne dispose pas de toutes les connaissances nécessaires pour qu'une explicitation soit suffisante, au sens de la trace parcourue par le système dans ces connaissances : il faut aussi faire acquérir ces connaissances elles-mêmes.
- Le raisonnement expert peut s'appuyer sur des "raccourcis" difficilement compréhensibles par le débutants : l'expert a construit des procédures que le débutant ne comprendra que si on lui en explique les raisons.

La satisfaction de cet objectif de formation nécessite donc :

- que l'on connaisse bien le niveau initial du débutant, pour aider à l'intégration de connaissances nouvelles à des SRTs existants (Leplat, 1986) ;
- que l'on se demande si le niveau terminal d'expertise est un modèle susceptible d'être suivi et compris par le débutant ou s'il ne faut pas envisager des niveaux d'expertise intermédiaires, où les raisonnements sont déployés de façon plus intelligible.

Dans ce numéro, P. Falzon & B. Cahour montrent en outre que, même dans une situation de conseil, le conseiller doit développer des stratégies pour construire un modèle des connaissances de son interlocuteur. Il en va de même dans les situations de formation, où ce type d'expertise doit être intégré à un système expert dont l'objectif est d'enseigner.

Cette perspective didactique n'est pas propre à la formation initiale. Bien souvent, l'implantation des systèmes experts est réalisée auprès de professionnels, qui ont déjà une grande expertise de leur activité. Même si le développement de ces systèmes a été conduit en intégrant explicitement une démarche ergonomique de production d'aide à l'activité, l'introduction d'un nouvel outil produit une instabilité dans le système opérateur-tâche. Ce système devra se rééquilibrer au prix d'une modification de l'activité, par de nouvelles acquisitions (Samurçay & Hoc, 1988). Il convient donc toujours de penser à intégrer à un système expert un module susceptible d'aider l'opérateur à procéder à ces nouvelles acquisitions.

3. Spécification d'aides à l'activité

Quand le système expert est destiné à un utilisateur humain, il est crucial de disposer d'un modèle de cet utilisateur, même si le modèle reste schématique. Il faut toutefois que ce modèle permette de déterminer les besoins de cet utilisateur, notamment son point de vue et son mode de raisonnement quand il est susceptible d'interroger le système. Par exemple, la recherche citée (Hoc, 1989a), sur l'aide à la conduite de haut fourneau, a

montré que les conducteurs se représentaient le fonctionnement du processus dans des termes assez différents de ceux adoptés par les services techniques. Les experts de ces services ont alors été amenés à conceptualiser ce fonctionnement dans ces termes, pour fournir des aides utiles aux opérateurs. Si l'utilisateur est pris sérieusement en considération, ce que l'on demande à l'expert n'est pas seulement son expertise, mais la reformulation de cette expertise dans des termes pertinents pour un acteur qui doit utiliser cette expertise (comme le propose, par exemple, Zachary, 1988, pour la conception d'aides à la décision).

Dans ce numéro, Y.-M. Visetti a raison de recommander de se centrer sur la coopération homme-ordinateur, plutôt que sur la modélisation de l'expert. L'expérience, en matière de conception d'aides logicielles à l'activité, prouve que la satisfaction des objectifs ergonomiques d'amélioration des conditions de travail ne peut pas toujours trouver une solution satisfaisante en la repoussant au moment de la conception de l'interface. En concevant cette interface, on peut certes résoudre des questions de disposition d'information ou de superficie du codage, mais on peut difficilement transformer en profondeur la structure des raisonnements d'un système et les représentations qu'il manipule.

L'intelligibilité du raisonnement du système par son utilisateur est une condition nécessaire si l'on veut établir une réelle coopération entre l'homme et la machine. Cette coopération est justifiée à plus d'un titre :

- quand on veut que l'homme reste responsable de la performance du système homme-machine dans son ensemble (l'aide au pilotage d'avion en est un exemple particulièrement parlant : Amalberti & Deblon, sous presse) ;

- quand on admet qu'un système expert et que son utilisateur mettent en oeuvre des heuristiques, dont chacune d'elles présente une fiabilité limitée : il faut alors chercher à ce que le système dans son ensemble ait une performance meilleure que chacune de ses composantes, en les faisant interagir (Woods & Hollnagel, 1987).

Cette dernière constatation a été bien mise en avant par Roth et al. (1988) dans une expérience sur l'utilisation d'un système expert d'aide au dépannage dans l'électro-ménager. Il s'est avéré que, quel que soit le niveau d'expérience des utilisateurs, ceux qui réalisaient le diagnostic en parallèle avec le système aboutissaient à une meilleure performance du système homme-machine que ceux qui réduisaient leur rôle (attesté par la notice) à l'entrée de données. Alors se pose la question de savoir quelles sont les conditions dans lesquelles les deux systèmes cognitifs (homme et machine) doivent communiquer pour que la coopération soit réussie.

Ce centrage sur l'utilisateur ne doit pourtant pas faire perdre de vue que l'objectif de l'ergonomie est d'optimiser des systèmes hommes-machines, tout en restant néanmoins centré sur l'homme. Les besoins d'un utilisateur ne sont pas seulement ceux qu'il éprouve, mais aussi ceux que l'on crée. Toute modification importante dans une situation de travail amène aussi, comme on l'a dit plus haut, à s'interroger sur des nécessités de formation.

4. Développement d'un logiciel autonome

L'objectif de développement d'un logiciel autonome ne se comprend évidemment que lorsque l'on sait qu'il n'y aura pas d'utilisateur humain pour le système. On pourrait penser que ce type d'approche est justifié dans la conduite de processus extrêmement rapides par exemple, où il est hors de question qu'un utilisateur humain entre dans la boucle des automatismes. Dans ce contexte, on pourrait même envisager que le système informatique ne s'inspire pas nécessairement des heuristiques humaines. On dit souvent que si l'avion s'était inspiré des techniques de vol animales, l'homme ne volerait toujours pas.

Mais la question n'est pas si simple, comme le montre le travail d'Amalberti & Deblon (sous presse) sur l'aide au pilotage d'avions de combat, qui justifie et produit une démarche de simulation du pilote humain. Car, si l'on peut théoriquement envisager des systèmes de contrôle complètement intégrés aux automatismes, en pratique on sait que ces

systèmes ont des domaines de validité limités, hors desquels la réalité les engage quelquefois. Or on connaît depuis longtemps (Edwards & Lees, 1974) les difficultés rencontrées par un opérateur “hors de la boucle”, lorsqu’il doit reprendre la main. Par nécessité, l’opérateur “dans la boucle” remet à jour régulièrement sa représentation de la situation, ce qui lui permet notamment d’anticiper certains incidents, mais surtout d’agir en connaissance de cause. On peut donc s’interroger sur la fiabilité d’un système homme-machine, dans lequel la machine opérerait de façon toute différente de celle du superviseur humain.

Paradoxalement, il est des cas où la prise en considération d’un utilisateur n’est pas vraiment nécessaire. Certains systèmes experts ne se sont révélés utiles qu’au moment de leur conception, sans pour autant avoir abouti à une exploitation. On connaît, en psychologie cognitive, les vertus de la prise de conscience (Piaget, 1974) qui construit des connaissances à partir d’une réflexion sur l’action. Beaucoup de pratiques d’experts humains s’appuient sur des connaissances implicites que la conception d’un système expert peut aider à expliciter, donc à corriger et améliorer éventuellement.

III. Perspectives théoriques sous-jacentes

S’agissant d’extraire les connaissances d’un expert humain, il convient donc d’abord de se définir un objectif. Mais avant de faire des choix méthodologiques, il est important de se référer à une théorie de l’activité étudiée, qui permettra d’interpréter les données recueillies, d’autant plus quand il s’agit de données verbales. Il s’agit d’abord, bien entendu, d’une théorie cognitive, mais les activités cognitives portent sur des contenus de connaissance qui pré-existent. En contrepoint à la contribution de J.-P. Krivine, dans ce numéro, qui sépare la modélisation du domaine et celle de la résolution de problème, en remarquant que la seconde est négligée, il ne faut pas tomber dans un “psychologisme” qui négligerait le rôle des

contenus de connaissance dans les stratégies de résolution de problème adoptées.

Sur le thème de l'activité experte, ce que nous apprend la psychologie cognitive est que nous avons affaire à un système cognitif "multi-processeurs". Bien entendu, il ne s'agit pas d'une théorie neuropsychologique, qui localiserait physiquement les processeurs en cause dans le système nerveux. Il s'agit plutôt d'une approche fonctionnelle, qui permet d'inférer, à partir de données expérimentales d'observation du comportement, différents niveaux (et modes) de régulation chez l'expert humain. L'accès aux connaissances opérationnelles à ces divers niveaux se pose, bien entendu, en des termes différents.

1. Les niveaux de régulation de l'activité

La modélisation des activités cognitives doit tenir compte de différents niveaux de régulation de ces activités, qui leur confèrent des propriétés différenciées et qui conduisent à adopter des modes d'accès variés à ces activités. On se référera ici à une classification simple, introduite par Rasmussen (1986 : pour un exposé récent), en présentant ces niveaux dans l'ordre inverse de la genèse de l'expertise. Ce qui caractérise en effet l'expert, par rapport au débutant, dans une activité donnée, c'est d'avoir construit de nombreux automatismes (*skill-based behaviours*) et des règles d'action (*rule-based behaviours*), tout en restant capable de fonctionner au niveau des connaissances déclaratives, d'ordre conceptuel (*knowledge-based behaviours*), en particulier dans des situations nouvelles de résolution de problème. L'expert a également construit des métaconnaissances sur ses modes de fonctionnement, qui lui permettent aussi de choisir le mode le plus approprié à la situation (Valot et al., 1989).

1.1. Les automatismes

La régulation sur des automatismes ne fait pas appel à la représentation symbolique. Elle se base sur des signaux, c'est-à-dire sur les caractéristiques purement perceptives des informations traitées. Pour autant, ces caractéristiques ne sont pas indépendantes des connaissances acquises et de l'expérience dans le domaine. Ces acquisitions et cette expérience ont orienté un filtrage de nature à ne retenir que les propriétés pertinentes à l'action. L'expérience produit aussi des attentes très fortes du type d'information que l'on va recevoir, de sorte que le domaine de validité des automatismes est plus restreint que celui des stratégies de résolution de problème, qui envisagent des champs de possibilités plus larges. C'est pourquoi l'étude des automatismes constitue un domaine de recherche très développé pour l'approche des problèmes de fiabilité humaine (Leplat, 1985).

Les auteurs s'accordent, à la fois sur l'importance de ces "connaissances compilées" chez l'expert (Evans, 1988 ; Salter, 1988) et sur l'impossibilité d'y accéder directement par des techniques de verbalisation. L'Intelligence Artificielle privilégiait, jusqu'à maintenant, ces techniques d'extraction et se fermait ainsi une voie d'accès à la véritable nature de l'expertise. Dans cette discipline, on accorde maintenant plus d'attention à des méthodes psychologiques d'accès, apparemment plus indirect, aux connaissances. Par exemple, dans le domaine des activités de classification, on fait grand usage des diverses techniques des échelles psychologiques (Cooke & McDonald, 1987), sans négliger les problèmes d'interprétation qu'elles posent.

C'est ici toutes les méthodes d'observation et d'expérimentation de la psychologie dont il faudrait traiter, dont on peut trouver des exposés étendus dans Caverni et al. (1988) et Caverni (1988b). S'agissant de l'accès aux automatismes, on pensera plus particulièrement à l'analyse des délais de réponse, des mouvements oculaires, à la manipulation des conditions d'exercice de l'activité à des fins expérimentales, etc.

Il est probable que les modèles de type connexionniste sont appropriés pour formaliser les automatismes, mais beaucoup de chemin reste encore à parcourir pour mettre au point des méthodes de validation de ce type de modèles et pour en maîtriser les propriétés. En particulier, la définition des entrées de ces modèles s'appuie souvent sur une structuration (ou un filtrage) a priori, qui devrait être validée. Par ailleurs, les mécanismes de production des sorties ne sont pas encore suffisamment bien connus pour aboutir à une validation précise, à partir d'indicateurs comportementaux relevés sur l'opérateur. En somme, ces modèles réintroduisent, pour l'instant, une "boîte noire" pour couvrir l'activité implicite et se contentent de rendre compte de la structure du comportement observable. Il serait dommage que les efforts de la psychologie cognitive pour s'échapper du comportementalisme (*behaviorism*), afin de produire des explications du comportement par des modèles d'activités non observables, soient interrompus par ces approches non symboliques. En tout cas, la démarche des modèles connexionnistes dans la production d'aide à l'opérateur reste entachée de deux restrictions rédhibitoires :

- l'impossibilité de fournir à l'utilisateur une explicitation de la démarche suivie ;
- et la fiabilité restreinte des systèmes existants : mieux vaut dire à l'utilisateur qu'on ne sait pas résoudre un problème (comme c'est le cas des systèmes experts) que de lui donner une solution erronée.

1.2. Les règles

A ce niveau, le contrôle ne se fonde plus sur les seules caractéristiques perceptives (signifiants ou expressions) des informations, mais sur leurs caractéristiques sémiologiques, renvoyant à des signifiés ou contenus (Cuny & Hoc, 1974). Les informations traitées sont des signes, envisagés comme des unités à double face (expression perceptible / contenu codé). Ce niveau de régulation fait donc appel à la représentation symbolique, ce qui n'est pas le cas des automatismes. Il peut s'agir de codes bien formalisés et très répandus, de codes spécifiques à une profession (comme les langages opératifs qu'a étudiés P. Falzon, 1989 : voir aussi ce numéro), ou de codes individuels construits par l'expérience. Valot & Amalberti (1989) montrent bien l'importance de ces codes, en traitant de la redondance de l'information dans les salles de contrôle ou les cabines de pilotage d'avion. Certaines valeurs de variables codent, pour l'opérateur, un contenu non intentionnel chez le concepteur, car elles vont de pair avec d'autres caractéristiques de la situation, du fait de corrélations contingentes et seulement observées empiriquement.

Les signes permettent d'établir des règles de décision, similaires à celles que l'on a coutume d'utiliser dans les systèmes experts. Quand les codes sont aisés à verbaliser (ce qui n'est pas toujours le cas, puisque leurs expressions peuvent être aussi de type spatial : que l'on pense à un schéma électronique, par exemple), les règles sont accessibles à la verbalisation. Les procédures, à ce niveau de régulation, sont modulaires, en ce qu'elles se découpent facilement en règles. Les mêmes règles peuvent se recomposer dans des procédures différentes, de sorte qu'on accède à des unités d'activité indépendantes de procédures particulières.

Toutefois, l'expert accède plus difficilement à ces règles hors d'une situation d'exécution. S'il dispose d'une grande quantité de connaissances, les conditions d'accès à ces connaissances dépendent du contexte, pour des raisons évidentes d'économie de gestion par des processeurs à capacité relativement limitées. C'est pourquoi, il est souvent approprié de mettre

l'expert dans une situation concrète, que l'on élargit ensuite à d'autres situations. On peut trouver une illustration de ce principe dans l'étude citée sur la conduite de haut fourneau (Hoc, 1989a). Cette démarche doit néanmoins être contrôlée par une typologie des situations, qui soit pertinente aux activités développées par l'expert, afin que d'assurer la représentativité des situations concrètes qui sont choisies. Sur ce point, diverses méthodes d'accès à des classifications sont disponibles (Boose & Gaines, 1987 ; Aussenac, 1989).

1.3. Les connaissances déclaratives

Enfin, il arrive que la régulation de l'activité doive s'appuyer sur des structures plus complexes, que l'on peut formaliser par des schémas. Il s'agit de concepts, entendus comme des réseaux structurés de connaissances, intégrant à la fois des propriétés, des relations et des procédures (voir la notion de SRT — Hoc, 1987 — ou de champ conceptuel chez Vergnaud, 1980). Bien entendu, ce niveau de régulation est très distant de celui qui conduira à l'action pratique. Son importance est souvent surestimée dans les recherches expérimentales de psychologie cognitive, qui portent sur des situations de résolution de problème, pour lesquelles les sujets disposent de peu de connaissances spécifiques.

À ce niveau, le recours à la verbalisation peut s'avérer approprié, sans constituer pour autant la seule méthode pertinente. Mais il faut aussi savoir que le recours à la verbalisation, sans précaution, peut induire chez l'expert un fonctionnement à ce niveau. Cette induction peut être une bonne chose si c'est ce qu'on cherche à produire (voir § 2.4), mais elle peut être très gênante si l'on veut aboutir à des automatismes ou à des règles d'action moins coûteuses.

Evidemment, il faut se garder de confondre les connaissances déclaratives avec celles qui prévalent dans la pensée formelle, qui s'appuie sur la notion de vérité. Il peut s'agir, comme l'a noté Kornell (1987), de connaissances narratives, qui s'appuient sur des similarités observées et des

significations : un modèle peut être utile, même si ses bases ne le sont pas, comme c'est le cas de certains raisonnements analogiques. Par ailleurs, les experts ont souvent recours à des modèles simplifiés, qui réduisent la complexité d'une situation, pour aboutir de façon rapide à des décisions d'action raisonnables (Moray, 1988).

Pour accéder à ces modèles, il convient de maîtriser les langages opératifs des experts (cf § 3.1.2), dans lesquels ils s'expriment de façon plus aisée que dans la langue. Le statut de l'observateur par rapport au domaine de connaissances, tel qu'il est perçu par celui que l'on observe est également crucial. Si l'observateur est perçu comme un "candide", le risque de voir reformuler les connaissances sous une forme compréhensible par un candide, mais éloignée de leur structure opérationnelle, peut être important. L'observation de dialogues entre experts est quelquefois utilisée pour réduire un tel risque.

2. L'opérationnalité des connaissances et la vicariance des situations

Si l'on cherche à accéder aux connaissances constitutives d'un certain type d'expertise dans un domaine (au sens où l'on a défini l'expert comme une personne ayant organisé des connaissances pour l'action) les objectifs d'action doivent être centraux. Ce n'est pas à toutes les connaissances de l'opérateur dans un domaine que l'on s'intéresse, mais à celles qui sont réellement utilisées dans l'action, c'est-à-dire aux connaissances opérationnelles. C'est cet objectif qui conduit Bylander & Chandrasekaran (1987) à formuler quelques principes pour la conception de systèmes informatiques, qui posent problème vis-à-vis de la structure actuelle des systèmes experts, comme par exemple :

- ne pas séparer la base de connaissance du moteur d'inférence,
- éviter les méta-règles qui séparent la connaissance du contrôle de la connaissance du domaine,
- tenir compte de l'activité dans le domaine pour analyser le domaine.

Le lien étroit entre les représentations et les traitements dans l'activité du système cognitif humain conduit en effet à analyser le domaine du point de vue de l'opérateur. Comme on l'a vu plus haut (§ 2.1), il n'y a pas seulement un type d'expertise dans un domaine, il y en a généralement plusieurs, déterminés par les divers types d'action à mener. Par exemple, devant un incident majeur sur un processus industriel, l'ingénieur peut avoir l'expertise nécessaire pour créer les conditions de nature à éviter qu'il se reproduise ou que ses conséquences soient aussi sévères. Mais il est souvent incapable d'agir dans la situation pour décider des mesures à prendre, aussi efficacement que l'opérateur de conduite qui, lui-même, peut être bien en peine de dépanner l'installation de façon durable, ce qui est du ressort du dépanneur.

Une question importante, qui reste encore mal maîtrisée, porte sur l'articulation entre les différents niveaux de régulation. En effet, si l'expert a développé des automatismes, son activité ne s'enferme pas à ce niveau. On peut penser qu'il est capable de développer des activités de supervision de ces automatismes, à d'autres niveaux, comme on le voit par exemple en examinant les stratégies de détection d'erreur (Rizzo et al., 1988). On sait peu de chose en revanche des mécanismes d'interruption des automatismes et de re-planification, qui jouent un rôle important dans les situations d'incident (Bersini, 1989). Cette articulation, ces possibilités de fonctionnement en parallèle, font également partie de l'expertise, en permettant au système cognitif d'assurer sa fonction essentielle d'adaptation.

Cette fonction d'adaptation représente certainement une richesse inégalée du système cognitif humain. Elle correspond à sa capacité de remettre en question ses procédures de traitement et d'en élaborer de

nouvelles. Pour ce faire, elle s'appuie sur la détection d'écarts aux domaines de validité des procédures et à l'élargissement de l'analyse des situations, en s'appuyant sur des niveaux de régulation divers.

Selon les situations, donc, on peut s'attendre à voir l'opérateur adopter des niveaux de régulation différents. Mais, dans les activités de résolution de problème, les types de systèmes de représentation et de traitement peuvent varier, en fonction de caractéristiques des tâches, autant que des opérateurs. Ce n'est pas parce que les systèmes experts traitent essentiellement des tâches de classification qu'il faudrait en conclure que les structures adoptées sont universelles. Les approches cognitives ont amené divers auteurs à proposer des typologies de situations, susceptibles d'orienter vers des modes de représentation des connaissances différents et des stratégies appropriées (voir Aussenac, 1989, pour une revue succincte).

À partir des travaux de psychologie cognitive sur la résolution de problème, une typologie grossière peut être proposée en trois grandes catégories (Hoc, 1987) :

- *les situations de transformation*, où le sujet se représente la tâche comme la recherche d'un chemin dans un espace d'états (ex : ordonnancement) ou d'évolutions (ex : contrôle de processus continu) ;
- *les situations d'induction de structures*, où il se la représente comme la recherche d'une structure susceptible de donner un signification à un ensemble d'éléments (ex : classification, diagnostic) ;
- *les situations de conception*, où il se la représente comme la recherche d'une représentation précise et adéquate du but à atteindre (ex : conception en architecture).

Dans chacun des cas, la nature des représentations et des stratégies utilisées varie. Par ailleurs, la même tâche peut être considérée différemment au cours de la résolution d'un problème. Les changements de représentation d'une tâche au cours de la résolution d'un problème participent également à la fonction adaptative du système cognitif humain (Richard & Hoc, 1990). Ainsi, il faut plutôt voir cette typologie comme

une proposition de composantes, permettant de décomposer des situations de résolution de problème, généralement plus complexes. La programmation informatique est particulièrement illustrative de la mise en oeuvre conjointe de ces composantes :

- il s'agit d'une situation de transformation d'états, à ces moments de la résolution où les instructions sont générées en exécutant symboliquement le programme ;

- on est confronté à des situations d'induction de structures dans les activités de compréhension ou de correction des erreurs ;

- enfin, la situation s'apparente à la conception, quand on met en oeuvre, par exemple, des stratégies descendantes qui articulent des schémas de programme, à partir de leurs propriétés plus statiques que dynamiques.

IV. Méthodes d'extraction et d'analyse

Comme on l'a annoncé au début de ce texte, il ne s'agit pas ici de passer en revue les méthodes d'extraction et d'analyse des données utilisées en psychologie cognitive pour modéliser l'opérateur humain. En ce qui concerne les méthodes de verbalisation, plusieurs présentations détaillées sont accessibles, dont les références ont été rappelées en introduction. Il ne s'agit pas non plus de proposer une présentation critique des aides à l'extraction dont s'est dotée l'Intelligence Artificielle et qui s'apparentent de plus en plus aux méthodes de la psychologie : le numéro spécial coordonné par Boose & Gaines (1987) en donne un bon aperçu. Il s'agit plutôt ici de dégager quelques principes susceptibles de guider les choix des méthodes et de guider leur utilisation, tels qu'ils s'appliquent à l'analyse du travail. L'objectif de construction d'un logiciel autonome sera laissé ici de côté. On se référera essentiellement à des situations où l'on recherche une certaine forme de modélisation de l'expert humain, voire de l'utilisateur humain lorsque sa prise en considération est nécessaire.

1. Le filtrage des connaissances

On a vu plus haut que les connaissances de l'opérateur humain sont loin d'être toutes exploitées dans son activité. On a convenu de qualifier d'opérationnelles celles qui sont effectivement mises en oeuvre dans une situation donnée. Si l'on vise l'extraction de ce type de connaissances, un filtrage est donc nécessaire. Le meilleur filtrage est obtenu par l'observation du comportement dans une situation concrète ou, au moins, à l'aide d'une référence explicite à de telles situations.

Dans les travaux cités sur le recours à la verbalisation, cette question du filtrage a été largement débattue et diverses méthodes ont été évaluées (Hoc, 1984). Quatre grandes catégories de facteurs sont avancées :

(i) *Le type de consigne* utilisée pour provoquer des verbalisations, qui sont loin d'être toujours obtenues spontanément de façon abondante.

La consigne peut orienter vers une verbalisation *directe* des représentations évoquées au cours de l'exécution ("dire à haute voix ce qu'on se (ou s'est) dit en exécutant la tâche"). Elle peut introduire un niveau d'exigence plus élevé, lorsqu'on demande de verbaliser la *procédure* adoptée ("dire comment on fait"). Enfin, elle peut orienter vers la verbalisation de *justifications* à la procédure ("dire pourquoi on procède ainsi"). La consigne a alors un effet assez évident sur le niveau de régulation adopté par l'opérateur pour la satisfaire.

(ii) *Le moment* de la verbalisation par rapport à l'exécution de l'activité-cible.

La verbalisation peut être *anticipée*, lorsqu'elle prend place avant l'exécution. Elle apporte alors des données sur les plans susceptibles de guider l'activité. Elle peut être *simultanée*, lorsqu'on la demande en concurrence avec l'exécution. On accède alors de façon assez privilégiée aux connaissances opérationnelles, lorsque l'on donne une consigne de verbalisation directe, mais des interférences sont possibles qui peuvent modifier la procédure adoptée. Enfin elle peut être *consécutive*, soit sans

assistance particulière, ce qui conduit à des difficultés de rappel en mémoire et des reconstructions étrangères à l'exécution elle-même, soit avec assistance. L'assistance la plus usitée est l'auto-confrontation, où l'opérateur est confronté à la trace de son comportement (enregistrements de natures diverses).

(iii) *Le type d'activité-cible.*

Le niveau de régulation adopté dans l'exécution spontanée est un déterminant important à considérer : on l'examinera plus en détail dans le paragraphe qui suit. Mais la compatibilité entre les représentations opérationnelles utilisées au cours de l'exécution et l'activité de verbalisation elle-même doit aussi être considérée (Ericsson & Simon, 1984).

(iv) *Les facteurs de variabilité individuelle.*

Les sources de variabilité inter-individuelle sont nombreuses, de sorte que de nombreux systèmes d'opposition ont été avancés : verbaliseurs/visualiseurs, conceptuels/ perceptifs, verbaux/ concrets, etc. Néanmoins, ces diverses dimensions sont mal maîtrisées et certaines corrélations rendent les recherches malaisées, par exemple la corrélation entre l'habileté à verbaliser et l'habileté à utiliser des images (Denis, 1979).

2. *Hypothèses préalables sur le mode de régulation de l'activité*

Le choix d'une méthodologie d'accès aux connaissances opérationnelles est donc fortement dépendant des hypothèses que l'on peut raisonnablement avancer sur la nature de l'activité-cible, notamment sur son mode de régulation. Moins cette activité est préalablement connue, plus une démarche dialectique (itérative : Salter, 1988) est nécessaire.

Une illustration de cette démarche peut être trouvée dans Hoc (1989a, 1989b), à propos de l'accès aux connaissances opérationnelles mises en oeuvre par des opérateurs de conduite de hauts fourneaux. Des

observations comportementales en salle de contrôle ont d'abord été recueillies, pour permettre des inférences sur la nature de l'activité étudiée, avant de concevoir des simulations et des consignes adéquates pour la verbalisation.

Lorsqu'il s'agit de concevoir un logiciel d'aide à l'acquisition de connaissances par un débutant, le niveau de régulation de l'activité adoptée par l'expert que l'on choisit est une question importante (Leplat, 1986). Avec l'expertise, certaines connaissances qui fondent l'activité peuvent ne plus être facilement accessibles et pourtant nécessaires pour guider l'activité d'apprentissage du débutant. On peut alors avoir intérêt à travailler avec des expertises de niveaux intermédiaires où les automatismes ne sont pas encore installés. C'est alors qu'on peut aussi obtenir plus facilement des données verbales, dont on sait qu'elles jouent un rôle important dans les débuts de l'apprentissage (Leplat & Hoc, 1981).

3. Confrontation des données obtenues par des méthodes différentes

Si la démarche doit être itérative, pour assurer progressivement la compatibilité entre la nature de l'activité-cible et la méthodologie utilisée, on n'aboutit pas nécessairement à une technique unique. Bien souvent, il faut combiner diverses techniques pour en confronter les résultats, en vue de contrôler en permanence leurs validités respectives. C'est ainsi que des techniques d'entretien sont combinées avec des techniques d'observation. Sans pour autant considérer comme Bainbridge (1979) que la verbalisation ne peut être qu'une technique exploratoire visant essentiellement à fournir des hypothèses, il n'en reste pas moins que les données verbales doivent être confrontées à d'autres comportements (Salter, 1988). Une bonne illustration de cette confrontation peut être trouvée dans un travail exemplaire d'Elstein et al. (1978) sur le diagnostic médical. La plupart du temps, il s'agit de comparaisons entre des données verbales obtenues pendant le déroulement de l'activité ou hors de ce contexte et des données comportementales obtenues par observation de l'activité.

La combinaison de diverses techniques peut aussi apporter des informations utiles sur le décalage souvent remarqué entre compétence et performance. Des techniques d'entretien peuvent mettre en évidence des connaissances que l'on ne retrouve pas exploitées dans l'observation de l'activité en situation (Cuny, 1979 ; Hoc & Samurçay, 1989). De tels décalages renvoient à des questions sur les conditions de mise en oeuvre de ces connaissances, susceptibles d'améliorer éventuellement l'efficacité des procédures.

4. L'analyse des protocoles

(i) De l'interprétation à la validation

Que les protocoles recueillis comportent ou non des données verbales, leur analyse conduit à une interprétation. L'établissement d'un fait n'est jamais immédiat : un fait est une donnée interprétée. Quand le type d'activité étudiée est relativement bien connu, on peut s'appuyer sur des théories qui orientent sur des interprétations valides. Mais, dans le domaine de l'extraction des connaissances, on a souvent affaire à des activités encore peu étudiées, de sorte que l'interprétation n'est pas toujours univoque. C'est pourquoi la combinaison de méthodes est souvent utile.

Quand les données sont verbales, il faut prendre au sérieux le fait qu'il s'agit d'unités à double face (expression perceptible et contenu exprimé). Il n'est donc pas envisageable de s'appuyer sur des méthodes d'analyse textuelle de surface, qui présentent des limitations importantes, comme le montre C. Vogel dans ce numéro. Par ailleurs, les verbalisations sont obtenues dans des conditions souvent difficiles, où les expressions employées ne correspondent pas toujours aux intentions réelles d'expression du locuteur. Là encore, la confrontation de techniques différentes peut être utile, mais la participation du locuteur à l'analyse du protocole peut s'avérer nécessaire. Enfin, les contenus du langage utilisé ne correspondent évidemment pas toujours exactement aux représentations

réellement adoptées. Il faut donc prendre les énoncés linguistiques comme des approximations ou des bases d'une inférence qu'il faut contrôler par ailleurs.

(ii) Rôle des contenus de connaissance dans l'interprétation

La psychologie cognitive et l'Intelligence Artificielle sont certainement des disciplines spécialistes des formes de connaissance, mais elles ne sont pas spécialistes des contenus de connaissance. S'agissant d'approcher l'expertise dans un domaine, il faut prendre au sérieux les contenus de connaissance dans ce domaine, sur lesquels s'exercent des activités cognitives. Les activités sont bien entendu modelées par ces connaissances, de nature sociale et historique, qui leur pré-existent. Ainsi, les sciences cognitives, pour être productives, devraient mieux intégrer d'autres disciplines, qui ne sont pas, en elles-mêmes, cognitives, mais qui sont nécessaires au développement des sciences cognitives.

On ne voit guère comment on peut aborder une activité comme le diagnostic médical, par exemple, sans maîtriser les contenus des connaissances médicales. L'objet que l'on étudie est une interaction entre une activité et une tâche (Hoc, 1987) : à trop se centrer sur l'activité, on risque de lui attribuer des propriétés de la tâche. Pour employer un exemple métaphorique un peu excessif, on pourrait attribuer au système cognitif humain la propriété de refuser de traverser les murs, alors qu'il s'agit simplement d'une propriété physique, que le système a évidemment intériorisée, mais qui n'est pas d'ordre cognitif.

On constate, sur ce point, des évolutions positives de l'Intelligence Artificielle, qui met de plus en plus en avant l'analyse du domaine comme une condition préalable au choix des formalismes les plus appropriés à ce domaine (Boose & Gaines, 1987). L'analyse du domaine conduit également à la maîtrise des langages opératifs utilisés dans ce domaine, qui vont jouer un rôle important dans l'analyse des protocoles visant à l'extraction des connaissances (Falzon, 1989).

Conclusion

On a cherché ici à poser le problème de l'extraction des connaissances, tel qu'il a été introduit par l'Intelligence Artificielle, dans un cadre plus général. Tout d'abord, on a tenté d'explicitier le lien entre ce problème et les questions théoriques et méthodologiques de la psychologie cognitive. Ensuite, on a mis l'accent sur le fait que l'extraction des connaissances n'était qu'une étape dans un processus de conception de systèmes hommes-machines dont les caractéristiques ergonomiques devaient être prises en considération. En procédant ainsi, on a été plutôt amené à soulever des questions de recherche qu'à proposer des techniques immédiatement applicables dans la pratique de conception des systèmes experts.

Certaines contraintes de la psychologie cognitive, notamment celles de la validation empirique de ses modèles, ne permettent pas encore d'aborder sérieusement certaines activités trop complexes. D'autres contraintes de l'Intelligence Artificielle ne permettent pas de formaliser valablement certaines activités. Il convient de prendre en considération les limites actuelles de ces disciplines, du point de vue de la recherche. Mais il convient aussi de considérer que les pratiques n'ont pas nécessairement à s'enfermer dans ces limites. Du reste, certaines réalisations peuvent créer des situations dont l'étude peut être très intéressante pour la recherche. S'agissant de la psychologie ergonomique, l'étude de l'interaction entre les opérateurs et les logiciels, même quand ces derniers présentent encore des imperfections, peut être une source de données relativement riches pour analyser certaines activités. La situation d'interaction est alors utilisée à des fins méthodologiques, car elle peut produire des comportements indicateurs d'activités généralement implicites et peu accessibles dans des situations où l'assistance informatique est absente.

Si l'on admet de considérer que, dans la plupart des cas, la conception des systèmes experts conduit, en réalité, à construire des systèmes

hommes-machines, la question cruciale est probablement celle du lien entre l'expertise que l'on souhaite pour le système et l'expertise de son utilisateur. Une partie de la réponse peut être apportée par une psychologie cognitive individuelle. Mais il est clair qu'elle est insuffisante et qu'il faut se tourner vers une psychologie cognitive de l'interaction entre experts ou entre experts et consultants. C'est ainsi que l'on peut espérer aborder des situations plus complexes que celles qui sont actuellement couvertes, en construisant des systèmes dont l'expertise n'est pas seulement de donner des solutions, mais de résoudre des problèmes avec leurs utilisateurs, en tentant de répondre aux mieux à leurs besoins.

Jean-Michel HOC

Directeur de Recherche au CNRS

CNRS - UNIVERSITE DE PARIS 8

URA 1297 "Psychologie Cognitive du
Traitement de l'Information Symbolique"

Équipe de Psychologie Cognitive Ergonomique

2, rue de la liberté - 93526 SAINT-DENIS CEDEX 2

Références

- 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*.
- Aussenac, N. (1989) *Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition de connaissances expertes*. Toulouse, Université Paul Sabatier, thèse.
- Bainbridge, L. (1979) Verbal reports from the process operator. *International Journal of Man-Machine Studies*, 11, 411-436.
- Bersini, H. (1989) Before and after breakdowns. *IJCAI*.
- Bonnet, C., Hoc, J.-M. & Tiberghien, G., éd. (1986) *Psychologie, intelligence artificielle et automatique*. Bruxelles, Mardaga.
- Boose, J. & Gaines, B., éd. (1987) *Knowledge acquisition for knowledge-based systems*. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26(1-2-4), special issue.
- Bylander, T. & Chandrasekaran, B. (1987) Generic tasks for knowledge-based reasoning: the "right" level of abstraction for knowledge acquisition. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26, 231-243.
- Card, S.K., Moran, T.P. & Newell, A. (1983) *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale (N.J.), Erlbaum.
- Caverni, J.-P. (1988a) La verbalisation comme source d'observables pour l'étude du fonctionnement cognitif. In Caverni et al., 253-273.
- Caverni, J.-P., éd. (1988b) *Psychologie de l'Expertise*. *Psychologie Française*, 33(3), n° spécial.
- Caverni, J.-P., Bastien, C., Mendelsohn, P. & Tiberghien, G. (1988) *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*. Grenoble, PUG.
- Clancey, W.B. (1983) Guidon. *Journal of Computer-Based Instruction*, 10, 8-15.
- Cooke, N.M. & McDonald, J.E. (1987) The application of psychological scaling techniques to knowledge elicitation for knowledge-based systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26, 533-550.
- Cuny, X. (1979) Different levels of analysing process control tasks. *Ergonomics*, 22, 415-425.
- Cuny, X., Hoc, J.-M. (1974) Les intermédiaires graphiques dans le travail : principes de caractérisation des codes. *Le Travail Humain*, 37, 213-228.
- Denis, M. (1979) *Les images mentales*. Paris, PUF.
- Edwards, E. & Lees, F.P., éd. (1974) *The Human Operator in Process Control*. Londres, Taylor & Francis.
- Elstein, A.S., Shulman, L.S. & Sprafka, S.A. (1978) *Medical Problem-Solving*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. (1984) *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data*. Cambridge (Mass.), MIT Press.

- Evans, J. St B.T. (1988) The knowledge elicitation problem: a psychological perspective. *Behaviour & Information Technology*, 7, 111-130.
- Falzon, P. (1989) *Ergonomie cognitive du dialogue*. Grenoble, PUG.
- Hoc, J.-M. (1984) La verbalisation provoquée pour l'étude du fonctionnement cognitif. *Psychologie Française*, 29, 231-234.
- Hoc, J.-M. (1987) *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble, PUG.
- Hoc, J.-M. (1989a) La conduite d'un processus à longs délais de réponse: une activité de diagnostic. *Le Travail Humain*, 52, 289-316.
- Hoc, J.-M. (1989b) Strategies in controlling a continuous process with long response latencies: needs for computer support to diagnosis. *International Journal of Man-Machine Studies*, 30, 47-67.
- Hoc, J.-M. & Leplat, J. (1983) Evaluation of different modalities of verbalization in a sorting task. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, 283-306.
- Hoc, J.-M. & Nguyen-Xuan, A. (1987) Les modèles informatiques de la résolution de problème. In J. Piaget, P. Mounoud & J.-P. Bronckaert, éd., *L'encyclopédie de la psychologie*. Paris, Gallimard, 1713-1756.
- Hoc, J.-M. & Samurçay, R. (1989) An ergonomic approach to knowledge representation. *2nd European Meeting on Cognitive Science Approaches to Process Control*. Sienna, 115-128.
- Kornell, J. (1987) Formal thought and narrative thought in knowledge acquisition. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26, 203-212.
- Leplat, J. (1985) *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris, Armand Colin.
- Leplat, J. (1986) The elicitation of expert knowledge. In E. Hollnagel, G. Mancini & D.D. Woods, éd.; *Intelligent Decision Support in Process Environments*. Berlin, Springer-Verlag, 107-122.
- Leplat, J. & Hoc, J.-M. (1981) Subsequent verbalization in the study of cognitive processes. *Ergonomics*, 24, 743-755.
- Moray, N. (1988) Intelligent aids, mental models, and the theory of machines. In E. Hollnagel, G. Mancini & D.D. Woods, éd., *Cognitive Engineering in Complex Dynamic Worlds*. Londres, Academic Press, 165-175.
- Newell, A., Shaw, J.C., Simon, H.A. (1959) Report on a problem-solving program. *Proceedings of ICIP*, 256-264.
- Nisbett, R.E. & Wilson, T.D. (1977) Telling more than we can know. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Piaget, J. (1947) *La psychologie de l'intelligence*. Paris, Armand Colin.
- Piaget, J. (1974) *La prise de conscience*. Paris, PUF.
- Rasmussen, J. (1986) *Information Processing and Human-Machine Interaction*. Amsterdam, North-Holland.

- Richard, J.F. & Hoc, J.-M. (1990) Le contrôle dans la réalisation de la tâche. In J.F. Richard, C. Bonnet & R. Ghiglione, éd., *Traité de psychologie cognitive. Tome 2 : le traitement de l'information symbolique*. Paris, Dunod, 230-239.
- Rizzo, A., Bagnara, S. & Visciola, M. (1988) Human error detection processes. In E. Hollnagel, G. Mancini & D.D. Woods, éd., *Cognitive Engineering in Complex Dynamic Worlds*. Londres, Academic Press, 99-114.
- Roth, E.M., Bennett, K.B. & Woods, D.D. (1988) Human interaction with an "intelligent" machine. In E. Hollnagel, G. Mancini & D.D. Woods, éd., *Cognitive Engineering in Complex Dynamic Worlds*. Londres, Academic Press, 23-69.
- Salter, W.J. (1988) Human factors in knowledge acquisition. In M. Helander, éd., *Handbook of Human-Computer Interaction*. Amsterdam, North-Holland, 957-968.
- Samurçay, R. & Hoc, J.-M. (1988) De l'analyse du travail à la spécification d'aides à la décision dans les environnements dynamiques. *Psychologie Française*, 33, 187-196.
- Shortliffe, E. (1974) *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. New-York, Elsevier.
- Valot, C. & Amalberti, R. (1989) Les redondances dans le traitement de données. *Le Travail Humain*, 52, 155-174.
- Valot, C., Amalberti, R., Bataille, M., Deblon, F., Paignay, J.M. (1989) Metaknowledge for time and reliability: luxury or necessity? *Proceedings of the 2nd European Meeting on Cognitive Science Approaches to Process Control*. Sienne, 81-92.
- Vergnaud, G. (1980) Didactique et psychologie : problèmes et méthodes. *Deuxièmes Journées sur l'Education Scientifique*. Chamonix, 183-198.
- Vivet, M. (1991) Expertise pédagogique et usage des tuteurs intelligents. *Journées Francophones "Formation Intelligemment Assistée par Ordinateurs"*. Genève, 9-10 Janvier.
- Woods, D.D. & Hollnagel, E. (1987) Mapping cognitive demands in complex problem-solving worlds. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26, 257-275.
- Zachary, W.W. (1988) Decision support systems: designing to extend the cognitive limits. In M. Helander, éd., *Handbook of Human-Computer Interaction*. Amsterdam, North-Holland, 997-1030.