

L'ergonomie cognitive

un compromis nécessaire entre des approches centrées sur la machine et des approches centrées sur l'homme

Jean-Michel Hoc

CNRS - UVHC, LAMIH, PERCOTEC,
B.P. 311, 59304 VALENCIENNES CEDEX.
E.mail: Jean-Michel.Hoc@univ-valenciennes.fr
Internet: <http://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/>

RÉSUMÉ

La pluridisciplinarité introduit quelquefois du flou dans les concepts, en particulier dans ceux qui sont en usage dans les approches cognitives ; il en va ainsi de la dénomination « Ergonomie Cognitive » (EC). Après avoir défini l'EC comme un champ pluridisciplinaire d'élaboration et d'application de connaissances susceptibles d'améliorer les conditions de travail, en la différenciant du Génie Cognitif (*Cognitive Engineering*) qui adopte une approche centrée sur la machine, la brève histoire de l'EC est résumée. À l'origine, l'EC a pris sa source dans la communauté qui étudiait les Interactions Homme-Ordinateur (*Human-Computer Interaction*) ; la recherche et la pratique ont alors été très centrées sur la machine. De nos jours, une approche centrée sur l'homme est de plus en plus réintroduite dans l'EC, l'un des principaux enjeux étant la conception d'une réelle coopération entre l'homme et la machine, pour améliorer les capacités adaptatives des systèmes homme-machine.

1.- L'ergonomie cognitive

Quand les organisateurs de ce colloque m'ont demandé de parler des apports de l'ergonomie aux sciences cognitives, je ne me suis pas senti en mesure d'être exhaustif pour traiter en si peu de temps d'une question aussi vaste. J'ai alors choisi de consacrer mon exposé à l'un des thèmes privilégiés d'interactions pluridisciplinaires au sein de l'ergonomie cognitive (partie prenante des sciences cognitives s'il en est) et qui présente des enjeux considérables dans la conception des systèmes homme machine complexes, dynamiques et dangereux du présent et du futur : la coopération homme-machine.

L'Ergonomie Cognitive (EC) a parcouru un long chemin depuis 1982, où une communauté de recherche s'est organisée en Europe sous cette bannière. À cette époque, l'EC adoptait principalement des approches centrées sur la machine, impliquant des « utilisateurs » individuels. La recherche était essentiellement orientée par l'apparition successive de nouvelles technologies. Les débuts des recherches en psychologie de la programmation illustrent bien cet état de fait : les études étaient plutôt suscitées et structurées par le lancement des nouveaux langages de programmation que par des théories de la conception (on peut le voir, par exemple, dans l'introduction de la première partie du livre de Hoc, Green, Samuçay et Gilmore, publié en 1990). À ce moment, le paradigme de référence était celui d'un humain isolé, interagissant avec une machine isolée. Actuellement, nous pouvons constater que la recherche en EC est de plus en plus éclairée par les théories des sciences de la vie ou des sciences humaines et sociales, dans le contexte du développement des sciences cognitives. L'analyse du travail humain, dans des contextes réels et complexes, prend une part de plus en plus marquée dans la recherche et la pratique en EC, de sorte que l'on traite désormais, non seulement des problèmes posés par le travail individuel, mais aussi du travail collectif, avec une plus forte centration sur l'homme. Cette évolution est aussi sensible Outre-Atlantique, par exemple dans des revues telles que *Human Factors*, pourtant réputées par le passé pour ne publier que des travaux

expérimentaux dans des situations simplifiées de laboratoire. En outre, le terme « utilisateur » est progressivement remplacé par le terme « opérateur ». Il est évident que le travailleur n'est pas seulement un utilisateur de système informatique. Sa tâche n'est pas confinée dans l'utilisation d'un programme informatique qui n'est qu'un moyen pour réaliser une tâche qui va bien au-delà de l'utilisation d'un ordinateur. Même l'utilisateur d'un système de traitement de texte ne fait pas qu'utiliser un tel système ; il planifie, conçoit, compose des textes et une telle activité implique la génération d'idées, qui n'est pas restreinte à la production de textes dans la langue.

Mon intervention, sans être exhaustive, vise à proposer quelques réflexions sur ce qui peut être considéré comme la principale source de tension en EC, c'est-à-dire la recherche d'un compromis acceptable entre des approches centrées sur la machine et des approches centrées sur l'homme dans la conception et l'évaluation du travail. Dans l'ère de l'automatisation, l'EC est contrainte de traiter de la conception et de l'évaluation des Systèmes Homme-Machine (SHM), à la fois du point de vue « interne » de l'amélioration des conditions de travail et du point de vue « externe » de l'efficacité économique et technique. Dans nos recherches et nos pratiques en EC, nous ne pouvons pas ignorer que la motivation principale de l'automatisation est économique et la plupart des problèmes que nous essayons de résoudre en découlent. Cependant, beaucoup d'études en EC n'explicitent pas toujours très bien leur intention d'améliorer les conditions de travail et, à l'évidence, l'EC prend rarement en considération les problèmes économiques sous-jacents aux situations de travail, au moins au niveau de la recherche car les praticiens ne peuvent pas contourner ce genre de déterminant.

Nous pouvons, avec raison, être effrayés par certains de nos collègues « ergonomes de la cognition » qui participent à l'automatisation, plus ou moins consciemment, en procédant à l'extraction et à la modélisation des connaissances d'experts, avec le seul objectif de faire disparaître les opérateurs humains (et eux-mêmes comme ergonomes !). L'EC est certainement plus concernée par ce danger que l'ergonomie traditionnelle car elle porte davantage sur le traitement de l'information symbolique, qui paraît plus aisé à automatiser que les habiletés sensori-motrices. Au risque de paraître angéliques, nous pouvons trouver des raisons d'espérer dans les récents développements de l'EC, qui témoignent clairement d'un changement de point de vue, en partant d'approches centrées sur la machine vers des approches centrées sur l'homme. L'EC est sur le point de démontrer que l'amélioration des conditions du travail « humain » n'est pas un combat d'arrière-garde, mais une façon de permettre à la composante la plus adaptative des SHM — l'homme — de fonctionner en tirant le meilleur parti de ses capacités et d'assurer que les SHM de « mourront » pas du fait de la perte de leurs capacités adaptatives dans des environnements de plus en plus complexes et imprévisibles. Ici, nous nous écartons clairement de l'utilisation des systèmes de traitement de textes, pour atteindre des situations plus complexes et dangereuses, telles que le contrôle de processus industriel, l'aviation, l'anesthésie-réanimation, etc. Pour accroître notre optimisme, il est à noter que les entreprises sont de plus en plus conscientes de ce fait. Récemment, un ingénieur (Claude Thirion, communication privée) d'une grande entreprise sidérurgique faisait un commentaire typique de cette prise de conscience. Il notait que son entreprise devenait de plus en plus consciente du fait que les machines « intelligentes » mettaient à la retraite l'expertise humaine, tout en accroissant le besoin d'une telle expertise. Les incidents majeurs deviennent de moins en moins fréquents, mais ils restent possibles. Quand ils surviennent, l'automatisation peut être dépassée et les opérateurs experts, qui pourraient être en mesure de récupérer ce genre d'incidents, sont à la retraite. L'extraction de connaissances ne produit qu'une partie de la réponse à cet état de fait. Nous avons là quelque chose à ajouter aux « ironies de l'automatisation » dénoncées par Lisanne Bainbridge en 1987.

Dans cette communication, je n'adopterai pas une position intégriste (ce qui n'a d'ailleurs jamais été mon genre) et je n'imposerai pas de définition de ce que doit être l'EC, bien que j'aie quelques idées précises sur une telle définition. Bien plutôt, je préfère considérer ce terme en référence à une communauté de recherche, qui dépasse évidemment largement nos frontières et qui est composée de collègues qui reconnaissent qu'ils ont des buts, des objets, des méthodes et des pratiques en commun. Je n'introduirai mon point de vue personnel sur l'EC, considérée comme un concept, que pour mettre en avant son originalité par rapport au génie cognitif, parce que, dans mon esprit, cette distinction est au cœur de mon exposé, qui contraste des approches centrées sur l'homme et des approches centrées sur la machine. Bien entendu, ces deux domaines s'interpénètrent profondément, de sorte qu'un ingénieur de la cognition peut quelquefois jouer le rôle d'un ergonomiste de la cognition et inversement, mais le premier est davantage enclin à adopter le point de vue de la machine que le second qui met plus en avant les aspects humains. Ceci provient sans doute du fait que la conception de la machine doit être extrêmement détaillée, tandis que celle du versant humain peut exiger moins de détails (à l'exception des objectifs de formation).

Avant d'introduire davantage de détails sur cette tension entre les points de vue centrés sur l'homme et sur la machine, il convient de réduire une ambiguïté à propos du terme « cognitif ». Dans la communauté de recherche en EC, la cognition renvoie au traitement de l'information symbolique (fondé sur les connaissances déclaratives ou les règles : les niveaux KB et RB, dans la terminologie de Rasmussen, 1986). Il s'agit d'une conception restrictive de la cognition qui devrait également intégrer le traitement de l'information subsymbolique (fondé sur les automatismes : niveau SB). Il faudrait aussi accorder de l'attention à cette intégration : comment un rédacteur pourrait, à la fois, organiser ses idées et contrôler son processus manuel d'écriture en utilisant le même processeur attentionnel, dont on sait qu'il est limité en ressources ?

Dans cette communication, je présenterai d'abord brièvement l'histoire de l'EC en Europe, en montrant concrètement ce changement de préoccupations de la machine vers l'homme. Puis je proposerai une façon de gérer un compromis entre ces deux types d'approche, en introduisant le point de vue de la coopération homme-machine et en tirant quelques implications sur la conception des SHM.

2.- Le début de l'histoire : des approches centrées sur la machine

En 1982, Thomas Green, Gerrit van der Veer et quelques autres collègues ont organisé la première conférence européenne en Ergonomie Cognitive à Amsterdam. En fait, cette conférence, comme la seconde, qui s'est tenue deux ans plus tard à Gmunden, ne comportaient pas l'EC dans leurs titres, en préférant l'usage de l'expression *Mind and Computers*. La série de conférences ECCE (*European Conference on Cognitive Ergonomics*) n'a été reconnue qu'en 1985 à Stuttgart, où EACE (*European Association of Cognitive Ergonomics*) a été fondée, au cours de la conférence européenne INTERACT (communauté HCI). C'est ainsi que la troisième conférence, qui s'est tenue à Paris en 1986 a été appelée ECCE3. Cette brève histoire montre que l'EC, du moins en tant que communauté de recherche, a pris sa source plutôt dans le courant de l'étude des Interactions Homme-Ordinateur (HCI) qu'en Ergonomie. Un rapide coup d'œil aux sommaires des huit conférences (qui ont déjà 14 ans !) montre que l'EC n'a pas répudié ses origines : utilisation de l'ordinateur, psychologie de la programmation, environnements logiciels, interfaces, méthodes d'évaluation et de conception (de systèmes informatiques), etc. L'EC traite essentiellement de l'ergonomie des systèmes homme-machine et, puisqu'elle est cognitive, de machines dont on considère qu'elles sont des ordinateurs. Les titres des trois premiers livres publiés à la suite des conférences témoignent de cette tendance :

The psychology of computer use (Green, Payne, & van der Veer, 1983), *Readings in cognitive ergonomics - mind and computers* (van der Veer, Tauber, Green, & Gorny, 1984), *Cognitive ergonomics: understanding, learning, and designing human-computer interaction* (Falzon, 1990).

Toutefois, cette jeune communauté de recherche a ressenti le besoin d'organiser des réunions distinctes de celles de la communauté HCI. C'est alors qu'elle a attiré des chercheurs extérieurs à HCI, par exemple des ergonomes plus traditionnels ou des psychologues intéressés par l'étude du travail intellectuel ou collectif. Les conférences ECCE sont progressivement devenues un point de rencontre entre, d'une part, l'ergonomie du logiciel et du contrôle de processus, et d'autre part, la cognition individuelle et collective au travail. Cependant, EACE organise aussi une autre conférence — CSAPC (*Cognitive Science Approaches to Process Control*) — qui n'est pas restreinte à HCI. Évidemment, une telle centration sur les aspects du travail liés à la machine n'est pas nouvelle : cela fut aussi le cas de l'ergonomie en général. Les situations de travail sont essentiellement artificielles (mais faites de main d'homme !) et on sait que les travailleurs utilisent des dispositifs artificiels, c'est-à-dire des machines. Les machines simples ont conduit à développer des recherches ergonomiques sur les activités physiques que leur utilisation impliquait. Cependant, c'est très précocement qu'on a considéré que les activités mentales contrôlant le travail physique étaient aussi importantes que ce dernier. Ce fut probablement la réelle naissance de l'EC, qui est apparue bien longtemps avant les approches de type *Mind and Computers*. Les travaux de Beishon et Bainbridge sur les activités cognitives dans le contrôle de processus (au travers d'analyses fines de protocoles individuels) sont typiques de l'EC naissante, tout autant que les travaux menés au Laboratoire de Psychologie du Travail, à Paris, par Jacques Leplat et ses collègues et bien d'autres dans le monde. Néanmoins, le terme n'est apparu qu'avec le développement de machines plus « intelligentes », c'est-à-dire les ordinateurs. En conséquence, une telle conception des études ergonomiques, centrée sur la machine, n'est pas nouvelle. Par ailleurs, c'est probablement là la cause d'une confusion entre l'EC — une approche centrée sur l'homme — et le génie cognitif — une approche centrée sur la machine (voir par exemple Rasmussen, 1987, qui réclamait un élargissement du point de vue HCI vers une approche plus systémique, tout en définissant le génie cognitif comme une approche dirigée par la technologie).

Comme John Long l'a mis en avant dans plusieurs articles (en particulier celui de 1996), l'EC devrait produire des connaissances directement pertinentes à la conception des interactions homme-ordinateur, ce qui pourrait apparaître comme une entreprise typique du génie cognitif. Cependant, ce point de vue mériterait d'être enrichi, par exemple :

- John Long met l'efficacité au cœur de son argument, or ce concept reste mal défini et n'intègre pas explicitement les contraintes humaines, mis à part la performance, qui n'est que la partie visible de l'iceberg ;
- son analyse suppose que l'homme est simplement un utilisateur d'ordinateur, sans prendre en considération la tâche plus large qui peut aller au-delà de cette utilisation.

3.- La suite de l'histoire : des approches centrées sur l'homme

Il y a sept ans, dans un numéro spécial de la revue *Le Travail Humain*, un article a été consacré à une tentative de définition de l'EC (Green & Hoc, 1991). Ce numéro a lancé plusieurs thèmes de débat, en particulier en ce qui concerne les tensions nombreuses dans ce domaine pluridisciplinaire (entre théorie et pratique, entre conception et évaluation, entre les disciplines parti prenantes de l'EC, etc.). Nous n'allons pas reproduire ici ces débats, bien qu'ils

soient encore pertinents. L'article de Green et Hoc développait un désaccord avec John Long (1989), qui considérait l'EC comme une partie de HCI.

En tant que domaine de recherche appliquée ou de pratique, l'ergonomie rassemble des études qui sont essentiellement suggérées par des problèmes posés dans le travail réel ou, au moins, par des problèmes qui pourront raisonnablement se poser au cours de l'évolution future du travail. Ma position de chercheur en psychologie et en ergonomie cognitive dans un laboratoire de sciences pour l'ingénieur est une chance pour développer des recherches sur des situations de travail qu'il est probable de rencontrer dans le futur, par exemple dans le domaine du contrôle aérien ou de l'aviation, où l'on étudie les conditions d'une répartition dynamique des fonctions entre humains et machines (voir par exemple Hoc & Lemoine, 1998). Il est vrai que, désormais, la plupart des problèmes étudiés en EC sont causés par l'utilisation de l'ordinateur et la conception des interactions homme-ordinateur, plutôt que par une réflexion intrinsèque sur la meilleure évolution possible du travail humain dans le futur. Certains collègues, tels que Jacques Theureau (communication privée), pensent que nous devrions mettre davantage l'accent sur la conception de *situations* de travail, plutôt que d'adopter le point de vue restreint de la conception de *technologies*.

L'opérateur humain ne peut être restreint à un utilisateur d'ordinateur (on préfère le terme d'« opérateur » à celui d'« utilisateur » dans le domaine du contrôle de processus). Un ordinateur n'est qu'un moyen d'atteindre des buts superordonnés qui ne doivent pas être négligés quand on conçoit une situation de travail (et non pas seulement un programme informatique). Dans un autre domaine — le contrôle-supervision — et aune autre communauté de recherche — l'automatique — certains collègues (par exemple Millot, 1988) ont très bien compris qu'un concepteur de système ne conçoit pas seulement une machine, mais un système homme-machine qui réalise une tâche définie. Quelquefois, la sous-tâche confiée à la machine et la sous-tâche confiée à l'opérateur humain n'ont aucun sens quand elles sont conçues séparément. Cette idée a aussi été clairement exprimée par Hollnagel and Woods (1983) (voir aussi Woods, 1986, et Woods & Roth, 1995) quand ils ont souligné l'importance pour la conception qu'il y avait à considérer le SHM comme formé de deux systèmes cognitifs conjoints (*Joint Cognitive Systems*)

Une telle prise de distance par rapport à un point de vue sur la tâche trop centré sur la machine est nécessaire pour intégrer le point de vue humain et pour éviter de réduire l'homme à une partie « résiduelle » du SHM, complémentaire à la machine (comme l'a dénoncé par exemple Rabardel, 1995). En adoptant ce point de vue résiduel, nous avons grande chance de concevoir des sous-tâches humaines sans signification et d'aboutir à ce que l'homme perde le contrôle de l'ensemble de la situation. Ce n'est que par cette démarche de réinvestissement sur l'homme que la tâche du SHM et la responsabilité humaine sur la performance du SHM global, pour satisfaire les exigences de la tâche, peuvent être considérées. C'est pourquoi le concept de coopération homme-machine pourrait être l'un des enjeux majeurs dans le futur de l'EC.

Ainsi, l'EC ne traite pas seulement des interactions homme-ordinateur. En premier lieu, elle est concernée par l'activité individuelle qui traite des objets du travail, qui peuvent certes être médiatisés par des outils informatiques, mais qui ne sont pas réductibles à des objets informatiques. En second lieu, elle est aussi concernée par la coopération homme-homme, qui n'implique pas nécessairement l'usage d'ordinateurs, bien qu'ils puissent être conçus pour soutenir une telle activité (par exemple dans le domaine du travail coopératif assisté par ordinateur : CSCW).

Évidemment, ces préoccupations de l'EC ne peuvent pas être saillantes quand elle est confondue avec le génie cognitif. Quand le travail est analysé selon le point de vue de l'opérateur humain, sa nature peut apparaître très différente de celle qui découle de l'adoption

du point de vue de la machine. Tous les problèmes de travail ne peuvent pas être identifiés de ce dernier point de vue. Au long du développement des conférences ECCE, les approches centrées sur l'homme se sont renforcées, en particulier grâce à une plus grande attention apportée aux situations réelles de travail. En effet, la nature réelle du travail ne peut pas être étudiée dans les « boîtes de Skinner » des interactions homme-ordinateur, telles que les systèmes de traitement de texte utilisés au laboratoire, bien que de telles études aient produit des connaissances très utiles pour approcher des situations de travail plus complexes, où les systèmes de traitement de textes ne sont que des outils pour atteindre des buts superordonnés plus importants.

Un tel tournant, des approches centrées sur la machine à des approches centrées sur l'homme, introduit aussi une certaine source de complexité en EC pour satisfaire un critère de validité écologique. Il implique de placer les situations réelles au premier plan, c'est-à-dire les opérateurs humains et leurs contextes. Les opérateurs sont experts de leur travail, non pas en un sens académique, mais dans le sens d'une longue expérience, allant de pair avec l'acquisition prolongée d'une vaste quantité de connaissances opérationnelles et d'habiletés, notamment par l'action. Les travaux utilisant des sujets de laboratoire qui ne disposent pas de ce type d'expertise peuvent conduire à une faible validité écologique, en particulier quand on étudie le raisonnement. Dans la mesure où les représentations des tâches jouent un rôle majeur dans la détermination des activités cognitives, l'expertise de l'opérateur doit être prise en considération pour comprendre l'activité de travail (Leplat, 1997). La nature sociale du travail, le renforcement de ses aspects collectifs dans les systèmes de plus en plus complexes et interactifs créent le besoin d'une centration sur les activités coopératives. Quand un concepteur définit une tâche individuelle, le plus souvent cette tâche doit être redéfinie par l'opérateur pour tenir compte de contraintes contextuelles dans son exécution, incluant la négociation avec les collègues de travail (Leplat, *op. cit.*). Par conséquent, comme la pratique, la recherche doit aussi se développer en grande partie dans des situations réelles de travail, au moins avant de concevoir des réductions expérimentales, afin d'assurer leur validité écologique.

4.- Peut-on envisager des systèmes homme-machine « intelligents » sans coopération homme-machine ?

Chacun s'accorde à penser que l'informatisation des situations de travail les a rendu de plus en plus complexes, eu égard au nombre d'unités et de relations entre ces unités qu'il faut gérer. Une telle complexité a créé un besoin croissant de coopération entre les humains. On peut considérer la coopération de deux points de vue différents, du point de vue des agents. La coopération peut être passive ou active (distribuée ou collective, selon Schmidt, 1991).

La coopération est passive quand plusieurs agents peuvent contribuer à un but commun sans développer aucune activité coopérative. Cette conception de la coopération est très souvent adoptée dans de nombreux travaux en sciences pour l'ingénieur (ex. : intelligence artificielle distribuée) ou en sciences sociales (ex. : sociologie, mais Kjeld Schmidt est une exception). Ces travaux développent des approches structurales de la coopération, en s'appuyant sur de nombreuses métaphores : démocratique, autocratique, anarchique (ou hétérarchique), verticale, horizontale, etc. (voir par exemple Millot, 1988, ou Wærn, 1991). Dans la plupart des cas, l'intégration des activités individuelles en une activité collective est réglée à l'avance, à l'étape de conception. Une telle approche organisationnelle présente l'avantage d'alléger la charge de travail des agents, en réduisant leur besoin de développer des activités coopératives spécifiques (par exemple la coordination, qui est assurée par un plan pré-défini). Mais il y a un prix à payer. Le SHM est pré-configuré de façon rigide et son pouvoir adaptatif est forcément réduit

quand il faut procéder à des reconfigurations nécessitant le développement d'une coopération active (par exemple en replanifiant, en re-distribuant les tâches entre les agents, etc.).

Nous avons récemment proposé une conception active de la coopération, considérée comme une activité (Hoc, 1996; Millot & Hoc, 1997). Ce point de vue n'est pas original, puisque qu'un certain nombre d'activités coopératives ont déjà été décrites dans la littérature (voir par exemple Pavard, 1994, pour une synthèse). Notre contribution visait seulement à cerner une définition minimale de la coopération pour étudier des situations où une coopération active est intuitivement identifiable et à proposer une architecture cognitive pour la coopération, susceptible de structurer les activités décrites dans la littérature. Cette approche a été principalement motivée par la conception d'une coopération homme-machine, sur la base de la coopération homme-homme. Jusqu'à maintenant, les sciences pour l'ingénieur ont consacré l'essentiel de leur effort à concevoir des machines dotées d'un savoir-faire dans divers domaines d'applications — des machines dotées d'une expertise individuelle. Quand la coopération active est l'unique moyen d'accroître le pouvoir adaptatif du SHM, la machine doit être munie d'un savoir-coopérer. Alors, il devient crucial de définir le niveau le plus bas du savoir-coopérer et les conditions à satisfaire quand il faut atteindre des niveaux plus élevés.

A minima, une coopération (active) entre agents peut être identifiée quand ils peuvent gérer des interférences entre leurs buts et sous-butts respectifs pour faciliter les activités des autres. Même à ce niveau minimal, il est clair que le savoir-faire est une précondition au savoir-coopérer. La gestion d'interférences comprend la création, la détection et la résolution. Dans son sens positif, la création d'interférence est bien illustrée par le contrôle mutuel (par exemple entre le commandant et le copilote dans le cockpit ou entre deux concepteurs, dont l'un vérifie la production de l'un d'entre eux). Dans son sens négatif, la détection d'interférence renvoie à l'identification d'une gêne mutuelle (c'est le cas, par exemple, des conflits générés par le partage de ressources communes, même si les tâches des agents n'ont rien d'autre à voir les unes avec les autres). La gestion d'interférence peut être grandement améliorée par la capacité d'identifier les buts des autres agents, dans la mesure où elle peut alors être conduite par anticipation, plutôt qu'en réaction aux interférences effectives. Ce premier niveau d'activités coopératives est directement lié à l'exécution de la tâche et on peut le considérer comme celui de la *coopération dans l'action*. D'autres niveaux, plus élevés, peuvent être définis, qui se traduisent par une abstraction de plus en plus marquée par rapport à l'action et qui peuvent faciliter l'exécution des activités coopératives de plus bas niveaux.

Au second niveau, on peut ranger des activités coopératives à moyen terme, telles que l'élaboration d'un référentiel commun, d'un but ou d'un plan communs, ou encore la répartition des rôles entre les agents. Un référentiel commun est, en quelque sorte, une conscience partagée de la situation, qui inclut : une représentation occurrente de la situation (passée, présente et future) et des attentes implicites (un contexte implicite, qui est souvent sous-estimé dans les travaux actuels sur la conscience de la situation — *situation awareness* — voir par exemple Sarter & Woods, 1991). Il joue un rôle majeur dans la compréhension des communications, qui sont exprimées, la plupart du temps, de façon laconique (opérative, selon Falzon, 1989). Par exemple, dans le domaine de l'aviation, la conscience de la situation est souvent considérée comme un aspect crucial (dans la mesure où le processus supervisé est en perpétuelle évolution). Le partage d'une même conscience de la situation (en tant que référentiel commun), d'un but ou d'un plan commun, d'une répartition explicite des rôles, peut faciliter la communication et la compréhension entre les agents, quand ils gèrent des interférences. Ce niveau concerne la *coopération dans la planification*.

Enfin, on peut définir un troisième niveau où prennent place les activités à long terme les plus abstraites, qui améliorent les précédentes, par exemple l'élaboration de représentations

compatibles, d'un modèle de soi-même et de modèles des autres agents. La compatibilité ne signifie pas nécessairement la similarité, telle qu'elle est exploitée dans les systèmes d'assistance qui fonctionnent comme l'humain (*human like* : voir par exemple Boy, 1995). Des représentations sont compatibles si elles peuvent être traduites les unes dans les autres. L'élaboration d'un modèle de soi-même ou de la machine est au cœur de la théorie de Lee et Moray (1994) sur les passages entre contrôle manuel et automatique des processus industriels, que ces auteurs fondent sur l'évolution dynamique d'un équilibre entre la confiance en soi et la confiance dans la machine. Quand la première est plus élevée que la seconde, les opérateurs préfèrent le contrôle manuel au contrôle automatique, et inversement. Comme l'a clairement montré Muir (1994), le développement de la confiance est lié à l'élaboration d'un modèle de la machine, en s'appuyant sur une expérience. Il en va de même de la confiance en soi, qui est liée à un modèle de soi-même (métaconnaissances). Le terme de *métacoopération* paraît approprié pour dénommer ce niveau le plus élevé d'activités coopératives.

Dans les environnements complexes, dynamiques et imprévisibles, il peut être difficile à une organisation d'éviter complètement les interférences entre les agents humains. Cependant, une telle centration sur les activités cognitives et coopératives humaines ne doit pas ignorer la présence des machines, en particulier des ordinateurs, mais aussi des automates, etc. Si une coopération active est requise parmi les humains, pourquoi pas aussi entre les humains et les machines, quand ces dernières deviennent de plus en plus « intelligentes », c'est-à-dire adaptatives ? Le concept de Coopération Homme-Machine (CHM) n'est pas utilisé ici comme une étiquette publicitaire, mais renvoie à ces activités coopératives qui peuvent améliorer les capacités adaptatives des SHM à la variété de leurs environnements.

Un tel point de vue renouvelé sur la relation entre l'homme et la machine, qui dépasse largement la conception d'une stricte assistance, pourrait éclairer d'un jour nouveau les approches traditionnelles de la fiabilité des SHM et ouvrir de nouvelles voies de remédiation. Par exemple, dans l'accident d'Airbus sur le *Mont-Sainte-Odile*, la commission d'enquête a mis en avant un événement-pivot — le fait que le pilote aux commandes avait entré une valeur qui avait été interprétée par l'ordinateur comme une vitesse de descente au lieu d'un angle de descente (METT, 1993). On classe typiquement ce type d'erreur comme une erreur de mode (Sarter & Woods, 1992) et on propose classiquement une remédiation qui consiste à renforcer la saillance du mode. Cependant, si l'ordinateur avait été un humain, l'interprétation de cette erreur aurait été assez différente. On aurait incriminé des déficiences dans l'élaboration d'un référentiel commun, dans le contrôle mutuel ou dans l'inférence d'intention. Dans le même ordre d'idées, Amalberti (1992) a souligné la rigidité des interactions entre des pilotes et une assistance à l'atterrissage. Dans les observations qu'il rapporte, les pilotes paraissent adopter l'une ou l'autre de deux attitudes extrêmes : soit ils n'utilisaient pas l'assistance pour maintenir la situation dans des limites telles qu'ils savaient pouvoir la maîtriser, soit ils l'utilisaient en aveugle (confiance excessive dans les capacités de la machine). On peut interpréter cette observation comme l'appui sur un modèle déficient de l'autre agent et une quasi-absence de coopération.

Bien d'autres exemples de la pertinence du concept de CHM pourraient être trouvés dans la littérature sur les interactions homme-ordinateur dans les situations dynamiques et complexes. C'est ainsi qu'on peut considérer la CHM comme une solution pour introduire les degrés de liberté manquants dans les SHM pour s'adapter à leurs environnements, c'est-à-dire pour accroître leur fiabilité. En d'autres termes, le problème n'est pas d'atteindre le « risque zéro » par une organisation complexe, mais rigide, qui rencontrera nécessairement l'événement très improbable, mais toujours possible, qui conduira à la catastrophe du fait d'un manque d'adaptation, mais au contraire d'introduire des stratégies de gestion des risques dans le SHM

pour s'adapter aux imprévus. Ici, bien entendu, il faut aussi gérer un équilibre entre le coût cognitif d'une activité coopérative et son bénéfice en termes de pouvoir adaptatif et de fiabilité.

5.- Conception de la coopération homme-machine

Dans les systèmes complexes qui envahissent actuellement les bureaux et les usines, la conception (et l'évaluation) implique une synergie entre l'Ergonomie Cognitive et le Génie Cognitif. Le plus souvent, la tâche affectée à l'ensemble du SHM est prise comme un point de départ du processus de conception. Ensuite, le problème de la répartition des fonctions (ou des sous-tâches) entre les humains et les machines est résolu, avec plus ou moins de succès, en partant très souvent de l'affectation à la machine les fonctions qui peuvent être automatisées. C'est l'approche « résiduelle » de l'opérateur humain, en considérant qu'il s'agit du sous-système le plus adaptatif et qu'il pourra prendre en charge les fonctions complexes et quelquefois mal définies. Il est absolument nécessaire d'adopter des méthodes de conception qui dépassent cette conception (souvent implicite). Bien que le point d'entrée dans le processus de conception soit, à l'évidence, la définition d'une tâche à un niveau très général, la décomposition de cette définition devrait s'appuyer sur une connaissance des capacités de l'homme et de la machine. Mais les deux composantes du SHM ne peuvent être considérées comme équivalentes et symétriques, puisque c'est à l'homme que revient la responsabilité du comportement d'ensemble du SHM pendant l'exécution de la tâche. C'est alors que nous devrions considérer la tâche de la machine comme complètement intégrée, cognitivement, à la tâche de l'homme.

L'enjeu majeur de l'EC dans les prochaines années sera de réintroduire plus fermement l'homme dans le processus de conception, qui est encore trop dirigé par la technologie. Une façon de faire est de prendre en considération les potentialités et les exigences humaines en définissant la tâche du SHM. Une autre voie importante à explorer est de dépasser le paradigme HCI et d'essayer de définir les conditions d'une CHM naissante. À l'évidence, la coopération active entre les humains et les machines ne peut être complète, puisque les habiletés cognitives des machines sont encore limitées. Au moins peut-on espérer réussir à concevoir des machines qui, sans être capables de mener des activités coopératives, puissent soutenir au mieux les humains dans l'exécution de ces activités de coopération homme-machine (ex. : l'identification de but, le contrôle mutuel, etc.). Si l'opérateur humain est responsable de la performance de l'ensemble du SHM, il devrait être en mesure de détecter et de résoudre les interférences entre ses propres buts (ou plans) et les buts (ou les sous-plans) de la machine. Parmi les trois niveaux d'activités coopératives précédemment décrits — la coopération dans l'action, la coopération dans la planification et la métacoopération — on a pu montrer que certaines activités étaient réalisables par des machines dans des domaines spécifiques. Le premier niveau est bien maîtrisé par l'intelligence artificielle (gestion d'interférence et reconnaissance d'intention) et certaines des activités du second niveau sont à portée de main (en particulier l'élaboration de but ou de plan communs, ou la répartition dynamique des rôles), mais le troisième niveau, exigeant l'apprentissage, reste encore futuriste.

On ne pourra faire des avancées dans cette direction que si l'ergonomie cognitive et le génie cognitif développent leurs travaux dans le cadre pluridisciplinaire des sciences cognitives. En retour, le point de vue de la CHM pourrait apporter plus de richesse dans les sciences cognitives que la stricte perspective de la modélisation de l'intelligence humaine par des machines (ou du transfert de l'intelligence humaine aux machines).

BIBLIOGRAPHIE

- Amalberti, R. (1992). Safety in risky process control. *Reliability Engineering and System Safety*, 38, 99-108.
- Bainbridge, L. (1987). The ironies of automation. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (pp. 271-283). Chichester, UK: Wiley.
- Boy, G. (1995). "Human-like" system certification and evaluation. In J.M. Hoc, P.C. Cacciabue, & E. Hollnagel (Eds.), *Expertise and technology: cognition and human-computer cooperation* (pp. 243-254). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Falzon, P. (1989). *L'ergonomie cognitive du dialogue*. Grenoble, F: Presses Universitaires de Grenoble.
- Falzon, P. (Ed.). (1990). *Cognitive Ergonomics: understanding, learning, and designing Human-Computer Interaction*. London: Academic Press.
- Green, T.R.G., & Hoc, J.M. (1991). What is Cognitive Ergonomics? *Le Travail Humain*, 54, 291-304.
- Green, T.R.G., Payne, S.J., & van der Veer, G. (Eds.). (1983). *The psychology of computer use*. London: Academic Press.
- Hoc, J.M. (1996). *Supervision et contrôle de processus: la cognition en situation dynamique*. Grenoble, F: Presses Universitaires de Grenoble.
- Hoc, J.M., Green, T.R.G., Samurçay, R., & Gilmore, D.J. (Eds.) (1990) *Psychology of programming*. London: Academic Press.
- Hoc, J.M., & Lemoine, M.P. (1998). Cognitive evaluation of human-human and human-machine cooperation modes in air traffic control. *International Journal of Aviation Psychology*, 8, 1-32.
- Hollnagel, E., & Woods, D.D. (1983). Cognitive systems engineering: new wine in new bottles. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18, 583-600.
- Lee, J., & Moray, N. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, 153-184.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Long, J. (1989). *Cognitive Ergonomics and Human-Computer Interaction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Long, J. (1996). Specifying relations between research and the design of human-computer interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 44, 875-920.
- METT (Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme). (1993). *Rapport de la commission d'enquête sur l'accident survenu le 20 Janvier 1992 près du Mont Sainte Odile (Bas Rhin) à l'Airbus A. 320 immatriculé F-GGED exploité par la Compagnie Air Inter*. Athis-Mons, France: Service de l'Information Aéronautique.
- Millot, P. (1988). *Supervision des procédés automatisés et ergonomie*. Paris: Hermès.
- Millot, P., & Hoc, J.M. (1997). *Human-machine cooperation: metaphor or possible reality?* Paper presented at ECCS'97. Workshop on Human-Machine Cooperation. Manchester, UK, April.
- Muir, B.M. (1994). Trust in automation: Part I. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems. *Ergonomics*, 37, 1905-1922.
- Pavard, B. (Ed.). (1994). *Systèmes coopératifs: de la modélisation à la conception*. Toulouse, Octarès.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam: North-Holland.
- Rasmussen, J. (1987). Cognitive engineering. In H.J. Bullinger, B. Shackel, & K. Kornwachs (Eds.), *Human-Computer Interaction - INTERACT'87* (pp. xxv-xxx). Amsterdam: Elsevier.
- Sarter, N.B., & Woods, D.D. (1991). Situation awareness: a critical but ill-defined phenomenon. *International Journal of Aviation Psychology*, 1, 45-57.
- Sarter, N.B., & Woods, D.D. (1992). *Mode error in supervisory control of automated systems*. Paper presented at the Human Factors Society 36th Annual Meeting, Atlanta, GA, Oct.
- Schmidt, K. (1991). Cooperative work: a conceptual framework. In J. Rasmussen, B. Brehmer, & J. Leplat (Eds.), *Distributed decision-making: cognitive models for cooperative work* (pp. 75-110). Chichester, UK: Wiley.
- van der Veer, G., Tauber, M.J., Green, T.R.G., & Gorny, P. (Eds.). (1984). *Readings on cognitive ergonomics - Mind and computer*. Berlin: Springer Verlag.

- Wærn, Y. (1991). *Computer support related to group problem-solving* (Report No. HUFACIT 28). Stockholm: University of Stockholm, Department of Psychology.
- Woods, D.D. (1986). Paradigms for intelligent decision support. In E. Hollnagel, G. Mancini, & D.D. Woods (Eds.), *Intelligent decision support in process environments* (pp. 153-173). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Woods, D.D., & Roth, E.M. (1995) Symbolic AI Computer Simulations as Tools for Investigating the Dynamics of Joint Cognitive Systems. In J.M. Hoc, P.C. Cacciabue, & E. Hollnagel (Eds.), *Expertise and technology: cognition & human-computer cooperation* (pp. 75-90). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.