

ERGONOMIE DE LA SUPERVISION CONCEPTION D'INTERFACES HOMME-MACHINE

Christophe KOLSKI

Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, URA CNRS 1118
Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, BP 311
Le Mont Houy, 59304 Valenciennes Cedex, FRANCE

I - INTRODUCTION

Depuis les dernières décennies, l'évolution rapide des technologies industrielles, le degré de complexité de certains matériels, le développement de l'automatisation et l'introduction de l'informatique dans tous les domaines ont provoqué des changements importants dans le contenu et les méthodes du travail humain. D'après Sperandio (1988), la place de l'homme dans le système, son rôle, les qualifications professionnelles exigées et son degré d'autonomie s'en trouvent modifiés de façon majeure.

En supervision de procédés industriels automatisés, les nouvelles activités essentiellement mentales confiées aux opérateurs reflètent parfaitement cette tendance. En effet, l'opérateur humain s'intègre dans un système homme-machine regroupant trois sous-systèmes interconnectés : le procédé industriel, le système de conduite et de régulation et l'opérateur humain qui se contente de surveiller le procédé et d'intervenir en cas de dysfonctionnement, figure 1. Dans ce cas, il peut être aidé par des modules d'assistance (de diagnostic, de prédiction, de gestion d'alarmes, etc) intégrés dans le système de conduite et de commande.

Cette présentation discute de l'ergonomie de tels systèmes homme-machine. Elle se compose de trois parties : la première rappelle de manière globale les tâches réalisées par les opérateurs humains dans les salles de contrôle de procédés industriels. La seconde met en évidence certaines réactions des opérateurs face aux supports d'information mis à leur disposition. Enfin, la dernière partie propose une démarche méthodologique de conception/évaluation de systèmes homme-machine mise au point au Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine.

II - LES TACHES DE L'OPERATEUR HUMAIN

Suite à l'évolution technologique, l'opérateur est de moins en moins impliqué dans des tâches de contrôle manuel. Par contre, il doit de plus en plus réaliser des tâches mentales complexes de résolution de problèmes. Exigeant un haut niveau de connaissance sur le procédé, ces tâches ont été regroupées par Rouse (1983) en quatre grandes classes :

- **Les tâches de transition** : celles-ci correspondent aux changements de régime du procédé (arrêt, démarrage, changement de points de fonctionnement). Les outils proposées à l'opérateur doivent alors lui permettre d'effectuer des procédures pré-établies, de juger de leur bonne répercussion sur le procédé et de surveiller constamment la bonne évolution de celui-ci.
- **Les tâches de contrôle et de suivi de l'installation** : l'opérateur doit pouvoir surveiller l'état du procédé, de façon à détecter et à anticiper l'apparition d'un événement anormal, et optimiser, par des réglages fins, la production.

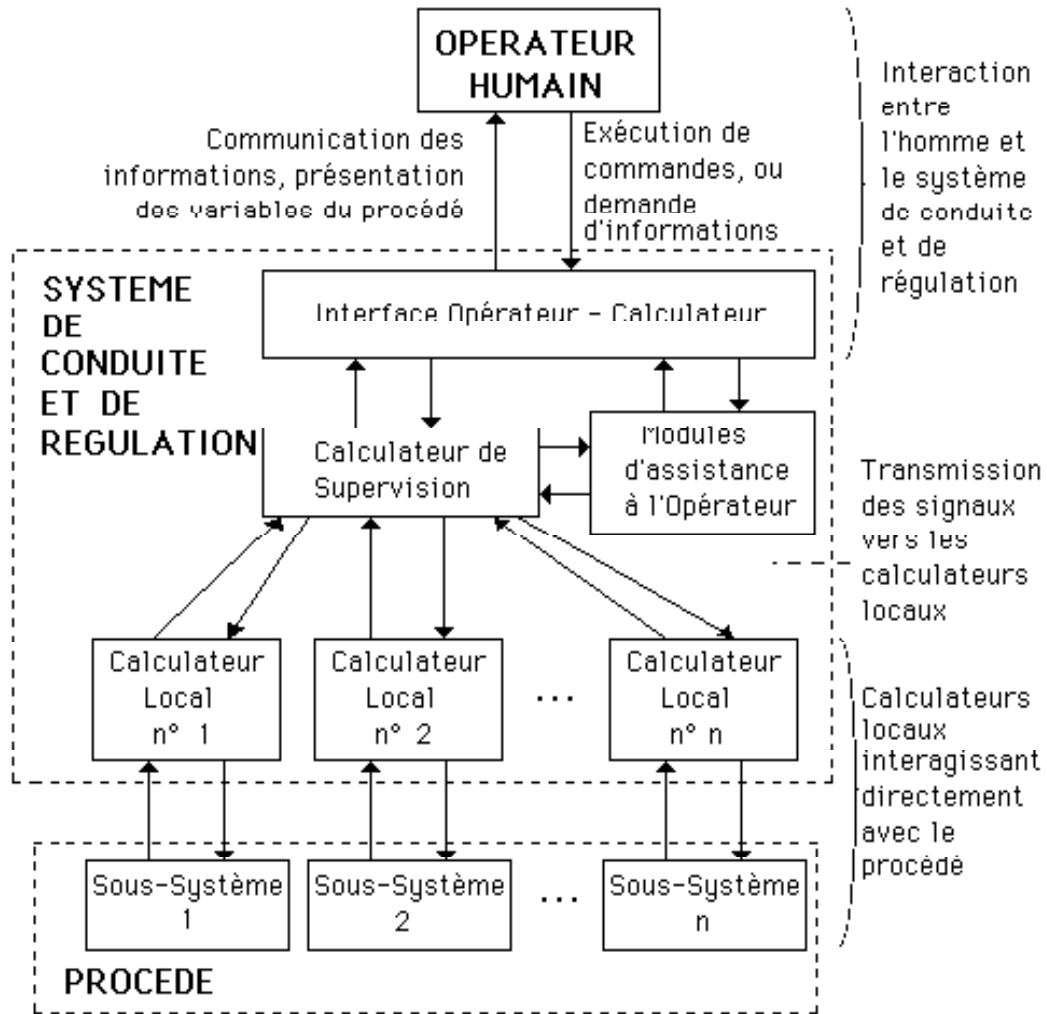


Figure 1 : Architecture des systèmes de supervision (d'après Sheridan, 1985)

- **Les tâches de détection de défaut et de diagnostic** : par l'apparition d'alarmes ou/et la possibilité d'observer une évolution anormale de certaines variables du procédé, l'opérateur doit pouvoir détecter les défauts et effectuer son diagnostic en conséquence. Il est alors nécessaire à l'interface Opérateur-Calculateur de permettre une mise en évidence aisée des relations cause/effet entre les variables du procédé.
- **Les tâches de compensation ou de correction** : afin de rétablir le fonctionnement normal du procédé, l'interface doit aider l'opérateur à décider des actions à accomplir et à visualiser leurs effets sur le procédé.

A ces quatre classes de tâches humaines, De Keyser, Decortis, Housiaux et Van Daele (1987) rajoutent particulièrement les deux suivantes :

- **Les tâches de planification des actions** : l'opérateur doit organiser une distribution optimale des actions dans le temps. Il a alors à gérer et à synchroniser des actions séquentielles et/ou parallèles, effectuées éventuellement par d'autres intervenants. Ces tâches doivent se baser sur des estimations du moment et de la durée des actions.
- **Les tâches de coordination des activités et de répartition de l'information** : ces tâches sont nécessaires pour assurer la coordination des différentes équipes de travail.

Ces deux dernières classes mettent en lumière l'importance du réseau conversationnel reliant généralement les différents opérateurs de l'équipe, via des téléphones, des interphones ou des contacts directs. D'après Van Daele (1988a), ces différents supports permettent de nombreuses interactions dans l'utilisation de l'information. Les différents types de communications verbales (qu'il est possible de mettre en évidence dans les salles de contrôle) servent de support d'information, et facilitent l'estimation, le jugement, le diagnostic face à certaines situations. Elles servent de mémoire collective que l'opérateur peut rafraîchir, et dans laquelle puiser à tout moment de l'information. Elles sont, d'après De Keyser et al. (1987), un instrument de contrôle et un champ de négociation. Elles doivent être particulièrement considérées lors de la conception et l'évaluation de systèmes homme-machine.

Actuellement, les progrès en matière d'automatisme font que l'opérateur de contrôle de procédé industriel s'éloigne de celui-ci pour se voir confier un rôle de superviseur (Sheridan, 1985) observant bien plus qu'agissant. Il a alors à sa disposition des outils informatiques lui présentant graphiquement les informations dont il a besoin pour effectuer ses différentes tâches. Ces outils peuvent être couplés à des modules de raisonnement "intelligents" ou typiquement algorithmiques, d'aide au diagnostic, à la prédiction de défauts, au filtrage d'alarme, etc. Ainsi, ces outils synthétisent l'état du procédé et aident l'opérateur dans ses différentes tâches. La manière de présenter et d'organiser l'information joue donc un rôle prépondérant dans l'efficacité et la fiabilité de l'opérateur humain.

La tendance actuelle, dans les salles de contrôle des procédés automatisés, est la présentation de l'information sur écran graphique de visualisation. Cette tendance fait suite à une évolution technologique marquée par plusieurs phases : dans la première phase, les opérateurs effectuaient un parcours de l'installation afin d'exercer la surveillance et la conduite directement sur le terrain. La seconde phase a vu une centralisation en salle de contrôle des informations de surveillance sur des panneaux muraux. La troisième phase voit les panneaux remplacés progressivement par des écrans graphiques permettant de synthétiser et de filtrer les informations. Enfin, actuellement, on voit apparaître dans certaines salles de contrôle l'utilisation de techniques de vidéo projection de certaines informations.

D'un point de vue informationnel, les avantages des écrans de visualisation sont nombreux. L'utilisation d'écrans permet en effet une grande flexibilité du mode d'information, par la possibilité d'afficher des courbes, des graphiques, des caractères alphanumériques, etc. Les paramètres du procédé peuvent être facilement structurés, rassemblés par blocs, zones ou figures. De plus, chaque variable peut être pré-traitée ou mémorisée dans le but d'afficher sa tendance par exemple. La multiplication des écrans dans les salles de contrôle n'engendre pas une disparition systématique des panneaux synoptiques. Ceux-ci sont la plupart du temps gardés dans la mesure où ils facilitent la communication et la résolution collective de problème en cas d'incident (Reinartz et Reinartz, 1989).

Face aux supports d'information (vues graphiques, synoptiques, systèmes IA d'aide à la décision, etc) mis à sa disposition, l'opérateur réagira de manières différentes.

III - REACTIONS DE L'OPERATEUR HUMAIN FACE AUX SUPPORTS D'INFORMATION **(Kolski, 1989)**

Devant les supports d'information disponibles en salle de contrôle, l'opérateur peut réagir de trois façons différentes : il peut les adopter sans restriction, les rejeter globalement ou encore demander certaines modifications ou des vues complémentaires après avoir constaté l'absence de certaines informations. Suite à ces réactions, le concepteur peut alors penser que le jugement de l'opérateur est un critère suffisant pour la validation des vues. Cependant la réalité n'est pas aussi simple, car l'opérateur peut être amené à adopter une vue pour d'autres raisons que des critères purement ergonomiques et en particulier utiliser la vue à des fins différentes des objectifs pour lesquels elle a été conçue. De ce fait, il convient d'analyser ces trois types de réactions, et leurs conséquences.

Dans le cas le plus favorable, où les vues répondent parfaitement aux besoins informationnels de l'opérateur, celui-ci peut les adopter sans restriction. Il existe cependant des cas beaucoup moins favorables où des sous-ensembles de vues sont adoptés bien que leur utilisation provoque une apparition de stress, de tension nerveuse ou de fatigue visuelle (Cakir, Hart, Stewart, 1980 ; Grandjean, 1983 ; Cazamian, 1987) pouvant entraîner une augmentation de la charge de travail. La conception des vues est alors en cause et il importe souvent de reconsidérer les éléments suivants, liés à la facilité d'accès à l'information et à la lisibilité d'une vue : la charge informationnelle de l'écran, la répartition des informations sur l'écran, l'utilisation des couleurs, le dosage des informations alphanumériques et numériques, le choix des symboles, les méthodes d'animation de l'image, etc. En effet, des écrans mal conçus peuvent entraîner des erreurs humaines provoquant une perte de fiabilité et de productivité du système homme-machine. Il existe dans la littérature de nombreuses classifications et études de l'erreur humaine, telles celles rapportées par Rouse et Rouse (1983), Leplat (1985), Reason (1987), Cellier (1990), etc. De chacune de ces classifications peuvent être tirées quelques erreurs fréquentes provoquées par des écrans mal conçus : (i) l'erreur de détection d'une information en raison par exemple d'une surcharge informationnelle de l'écran; ainsi, des variables importantes peuvent passer inaperçues parmi un grand nombre d'informations présentes à ce moment sur l'écran; (ii) l'erreur d'identification d'une information pouvant être provoquée par une mauvaise structuration de l'écran; l'erreur d'évaluation d'une valeur due à des échelles trop complexes ou inexistantes, etc. Ces erreurs peuvent se combiner entre elles pour provoquer d'autres erreurs telles qu'une erreur dans le choix de l'action à effectuer, dans le séquençement de l'action, ou l'omission d'une tâche, etc. La baisse de productivité provoquée par ces erreurs humaines rend alors nécessaire la correction des vues graphiques.

Un autre cas fréquemment rencontré est celui où l'opérateur adopte un sous-ensemble de vues tout en "détournant sa signification". Il utilise alors les vues à une fin différente de celle imaginée par le concepteur, si une information est manquante ou insuffisamment précoce (Van Daele, 1988a). L'expérience que l'opérateur a du procédé d'une part, celle qu'il a des moyens informatiques mis à sa disposition d'autre part, peuvent l'aider à affiner le détournement de signification de l'information. Pour remédier à cette situation une analyse de l'activité et des performances de l'opérateur doit conduire à la correction de ce sous-ensemble de vues dans le but de l'adapter aux besoins informationnels de celui-ci.

Le dernier cas d'adoption est associé à l'apparition d'erreurs "diaboliques", provoquées par des erreurs de représentation mentale de l'installation. Ainsi, l'opérateur croit avoir une bonne représentation de l'installation et persévère dans son erreur. A ce propos, une étude explique que, d'après des analyses découlant de l'accident de Three Miles Island, une erreur de ce type fut la cause déterminante de la catastrophe (Carnino, Idee, Larchier-Boulanger, Morlat, 1986). Il convient de noter que les erreurs de ce type sont souvent mises en évidence après un incident, heureusement pas toujours aussi grave que celui de Three Miles Island, et conduisent à des corrections de sous ensembles de vues .

En salle de contrôle, il arrive que certains supports d'information soient sous-employés ou même rejetés. Une première cause de rejet d'un sous-ensemble de vues peut être l'inutilité des vues ou la redondance de celles-ci par rapport à d'autres supports d'information. A ce sujet, dans une étude de terrain concernant une salle de contrôle de coulée continue en sidérurgie, Van Daele (1988b) montre que parmi sept écrans de visualisation proposant chacun un sous-ensemble de vues, l'un d'entre eux regroupe 90,7% des prises d'information sur écran. Celui-ci répond, en effet, à la majeure partie des besoins informationnels des opérateurs qui, en conséquence, délaissent les autres écrans.

Un second type de rejet d'un sous-ensemble de vues peut se produire lorsque l'opérateur a la possibilité de détourner l'information d'autres supports. Un tel cas est décrit par Housiaux (1988) : dans un centre néo-natal, les infirmières délaissent systématiquement un écran de visualisation au profit d'un tableau électronique fournissant toutes les informations utiles. Ce cas de rejet met l'accent sur une mauvaise conception des vues sur lesquelles l'information est mal présentée ou/et est insuffisante par rapport aux besoins réels des opérateurs.

Enfin, dans le dernier cas, l'opérateur rejette la vue parce qu'elle est soit mal présentée, soit inadaptée aux besoins de la tâche (Notte, 1986), mais il n'a pas, comme dans le cas précédent, la possibilité de détourner l'information d'autres supports. Une telle situation est donc source d'erreurs humaines et passe nécessairement par une correction des vues.

Comme l'explique De Keyser (1988), on observe un engouement industriel pour la réalisation d'outils d'assistance - graphiques ou non - à l'opérateur, qui ne va souvent pas jusqu'à leur validation sur le terrain. Coupés souvent de la réalité du terrain, manquant singulièrement de connaissances sur les caractéristiques de l'opérateur, sur ses tâches, ses activités réelles, certains concepteurs fournissent aux opérateurs des outils réalisés à grand frais, insuffisamment spécifiés et/ou validés sur le terrain avec eux, par voie de conséquence inadaptés à leurs besoins, et donc délaissés par ceux-ci. Soucieux de ne pas être accusés de "résistance au changement" ou d'être trop âgés pour s'adapter aux technologies nouvelles, les opérateurs préfèrent alors souvent emprunter la voie de "*la conspiration du silence*" (De Keyser, 1988). En partant de cette constatation, l'objectif de la partie suivante sera de proposer aux concepteurs de systèmes de supervision une méthodologie ergonomique de conception/évaluation de systèmes homme-machine.

IV - METHODOLOGIE ERGONOMIQUE DE CONCEPTION - EVALUATION DE SYSTEMES HOMME-MACHINE

La conception d'un système de supervision peut se baser sur une méthodologie de conception et évaluation de système Homme-Machine issue du Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine (Abed, 1990 ; Millot, 1990 ; Kolski, Tendjaoui et Millot, 1990 ; Millot et Roussillon, 1991 ; Kolski et Gambiez, 1991). Celle-ci sert actuellement de base à plusieurs applications industrielles (conception et/ou évaluation de systèmes d'assistance pour des opérateurs de contrôle (i) de la navigation aérienne, (ii) de procédé chimique, (iii) de réseau ferroviaire, (iv) de machines automatisées, etc). Cette méthodologie comprend deux étapes séquentielles (voir figure 2) :

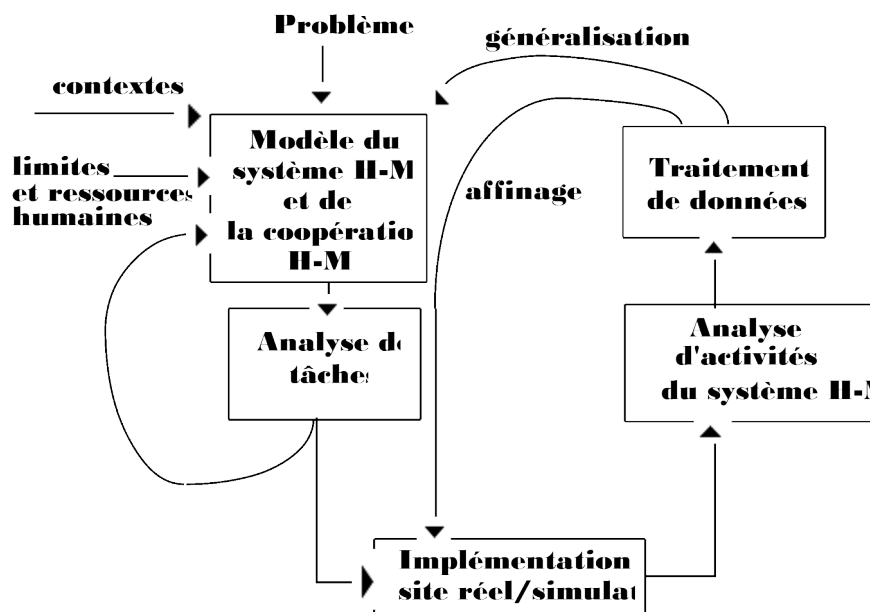


Figure 2 : Méthodologie de conception/évaluation de système Homme-Machine (Millot, 1990)

Une étape conceptuelle descendante de modélisation du système Homme-Machine aboutit à une mise en œuvre sur site ou à une simulation. La démarche consiste d'abord à analyser le procédé et son système de commande pour en déduire les modes de fonctionnement et de dysfonctionnement prévisibles. Ceci conduit à la définition des tâches humaines de supervision pour l'exécution desquelles il convient

ensuite d'évaluer les capacités humaines à partir du modèle des différents intervenants. Cette évaluation des ressources humaines en regard des contraintes techniques à satisfaire conduit à la définition d'outils d'aide et à l'interface Homme-Machine. Une étape ascendante consiste en l'évaluation du système, dans laquelle les critères d'évaluation tiennent compte des performances du système Homme-Machine global. Ces performances sont exprimées, par exemple, en termes d'écart entre la production réelle et les objectifs et également en termes de critères ergonomiques permettant d'évaluer les difficultés rencontrées par les intervenants lors de l'exécution de tâches. Ces deux étapes, descendante puis ascendante, de cette méthodologie sont successivement détaillées lors de la présentation, et illustrées de méthodes et modèles représentatifs.

IV.1 - Etape descendante de conception du système de supervision

Le modèle du système Homme-Machine comprend un modèle de l'opérateur ou des opérateurs, ainsi qu'un modèle du procédé et de son système de commande, figure 3. Dans cette étape, la démarche consiste d'abord à analyser la machine et son système de commande pour en déduire les modes de fonctionnement et de dysfonctionnement prévisibles. Ainsi, il convient d'abord de dégager les contraintes techniques (dynamique, sécurité, etc) selon les différents contextes de fonctionnement prévisibles. La définition de ce modèle peut s'appuyer sur des méthodes d'analyse éprouvées dont certaines sont couramment utilisées en automatique. On distingue deux types de méthodes : (i) les méthodes d'analyse du système en fonctionnement normal, (ii) les méthodes d'analyse du système en fonctionnement dégradé. De telles méthodes sont présentées de manière détaillée par Fadier (1990) et Villemeur (1988).

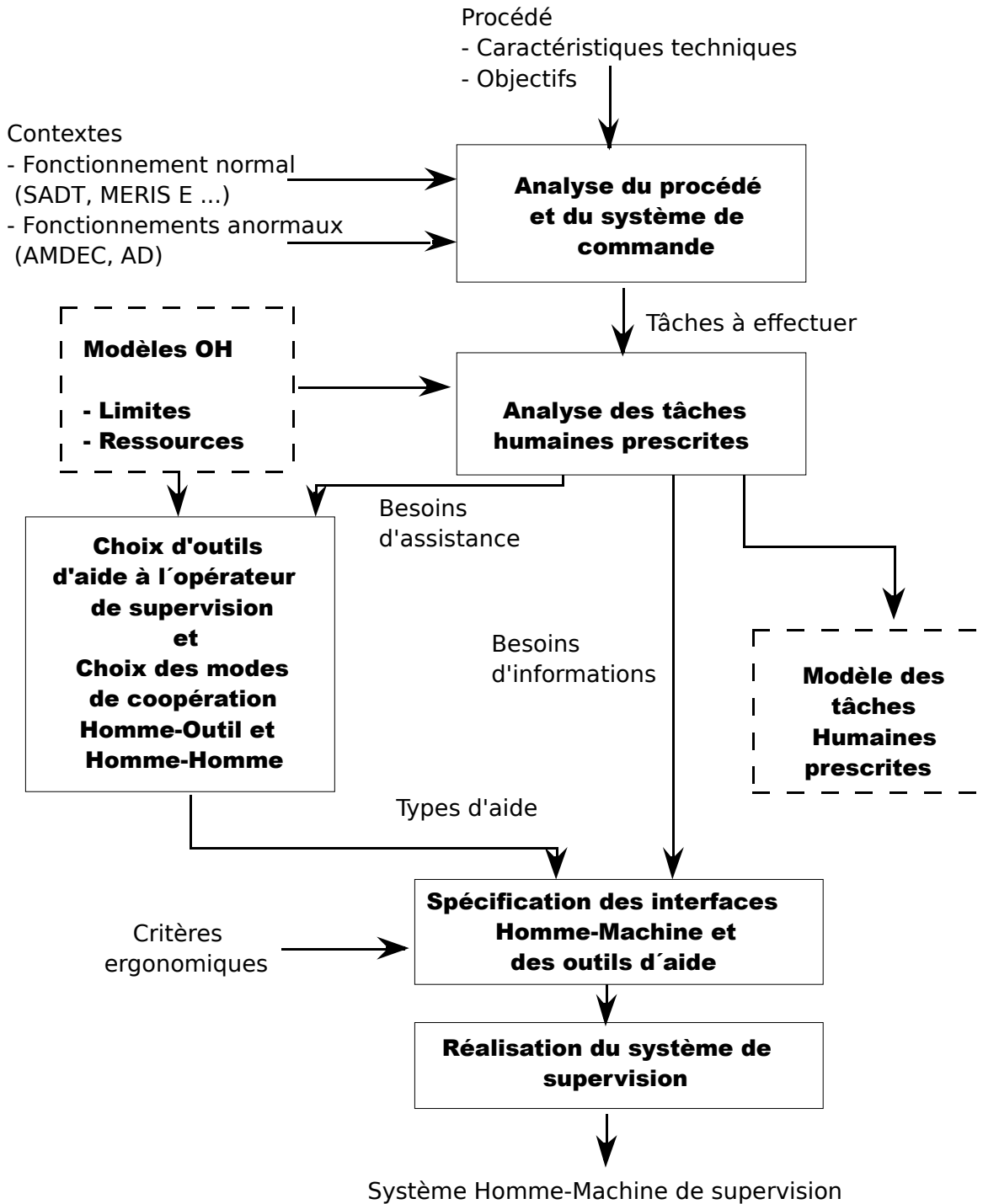


Figure 3 : Etape descendante de la méthodologie de conception (adaptée de Millot et Roussillon, 1991)

Les méthodes d'analyse précédemment citées sont utiles pour identifier chacun des modes de fonctionnement normaux et anormaux du système. Dans le cas d'un fonctionnement anormal, elles permettent par exemple de déterminer les parades à mettre en œuvre pour compenser celui-ci, ces parades pouvant être confiées à l'opérateur humain de supervision, ce qui débouche sur la définition des tâches humaines prescrites dans le système homme-machine. Dans le premier paragraphe, nous avons mis en évidence les différentes tâches susceptibles d'être confiées à l'opérateur humain. C'est en gardant comme support de travail cette classification et en exploitant les différents modèles résultants de l'analyse de la machine et de son système de commande que le concepteur doit parvenir à analyser puis modéliser les tâches humaines prescrites (voir la figure 3). Le but de ce travail est de se rapprocher des connaissances de l'opérateur de supervision et de rechercher la sémantique des situations à considérer, afin de guider la

réalisation (i) des outils d'aide aux tâches de supervision, et (ii) des interfaces homme-machine, en fonction des besoins probables de l'opérateur humain.

Cette analyse s'effectue la plupart du temps à l'aide de techniques communément utilisés en ergonomie : analyse de documents, observations sur site de situations de supervision, complétées par des verbalisations durant des entretiens avec les différents intervenants du processus de conception. La notion d'analyse de la tâche, ainsi que des méthodes opérationnelles ou des points de repère sont expliquées dans plusieurs ouvrages, tels ceux de De Montmollin (1967, 1974) ou Sperandio (1980 ; 1988). Daniellou (1986), quant à lui, donne des orientations et des recommandations pour l'analyse de l'activité future probable des opérateurs en salle de contrôle de procédé industriel. Ainsi, l'analyse consiste à recenser des données subjectives et objectives relatives aux différentes tâches humaines, à leur déroulement, aux besoins des opérateurs pour réaliser leurs tâches de supervision. On peut à ce sujet d'hors et déjà noter que certaines données peuvent être également recueillies à l'aide des techniques d'acquisition usitées en Intelligence Artificielle.

Plusieurs méthodes d'analyse sont applicables pour formaliser les différentes tâches humaines à effectuer par l'opérateur de supervision. Citons par exemple la méthode SADT et les Graphes de Fluence, ou encore les organigrammes inspirés de l'informatique.

L'analyse réalisée précédemment a conduit le concepteur (en liaison avec l'ergonome) à recenser les différentes situations pour lesquelles l'opérateur de supervision doit réaliser des tâches spécifiques. Pour chacune des situations, il importe ensuite au concepteur, en collaboration avec l'opérateur et l'ergonome, à choisir les outils et fonctions (graphiques, statistiques, IA, etc) qui aideront la réalisation de ces tâches. Il est possible de mettre en évidence sur le modèle de résolution de problème proposé par Rasmussen (1980) les différents types d'outils (sous forme de modules informatiques) d'aide qui pourront éventuellement être utiles (sinon nécessaires) à l'opérateur de supervision pour réaliser ses tâches. La figure 4 donne un aperçu non exhaustif des types de modules possibles en fonction de l'étape dans laquelle l'opérateur se trouve.

Le choix de l'intégration de ces modules informatiques dans le système de supervision influe directement sur le choix des modes de coopération entre l'opérateur humain et le système. Le concept de coopération homme-machine est né suite à l'apparition des outils d'Intelligence Artificielle en tant qu'assistants d'un décideur humain, et de la nécessité de prévoir et surtout de prévenir les conflits éventuels entre les deux décideurs potentiels : l'opérateur humain et le système d'intelligence artificielle (Millot, 1988).

Les travaux précédents (analyse du procédé et de son système de commande, analyse des tâches humaines prescrites, choix des outils d'aide aux tâches humaines, choix des modes de coopération homme-machine) ont mis en évidence tous les besoins en matière de fonctions du système de supervision, ainsi que les besoins informationnels des opérateur humains, voir la figure 3. Il est donc possible de passer à la spécification des interfaces homme-machine. Celle-ci doit être réalisée en collaboration par le concepteur, l'ergonome et l'opérateur. A l'écoute de ce dernier, l'ergonome aura à fournir au concepteur de l'interface des recommandations ergonomiques relatives à l'enchaînement des vues, la manière de présenter les informations, les modes d'activation des différents outils d'aide, etc. En raison du nombre considérable de recommandations ergonomiques sur lesquelles les spécifications d'interface devront se baser, nous invitons le lecteur à se référer aux nombreux guides et travaux disponibles dans ce domaine (Scapin, 1986 ; Kolski, 1989 ; Gilmore et al., 1989 ; etc). A ce sujet, Senach (1990) recense les différentes méthodes d'évaluation ergonomique des interfaces homme-machine.

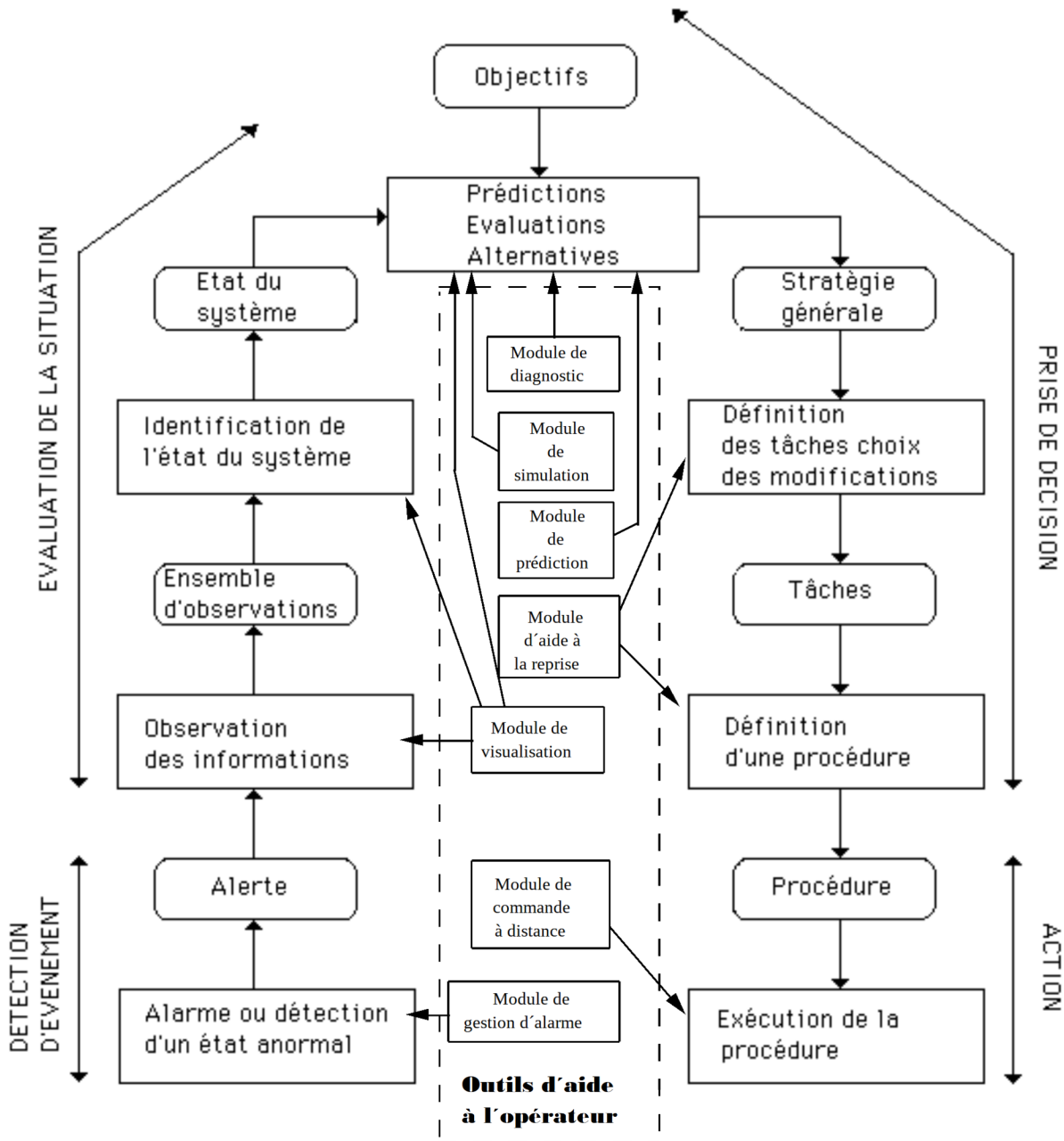


Figure 4 : Le choix d'outils d'aide à l'opérateur de supervision en fonction de la tâche

La spécification des interfaces conduit à la réalisation du système de supervision complet (interfaces et fonctions d'aide spécifiques). A ce sujet, on notera la variété des systèmes actuellement disponibles sur le marché. De plus, le marché informatique actuel offre un éventail varié d'environnements graphiques facilitant la réalisation et la modification d'interface homme-machine en réduisant l'écriture de code et en permettant la réutilisabilité des programmes. La réalisation de l'imagerie, de son gestionnaire, ainsi que des modules de traitement spécifique d'assistance conduit à un système de supervision prêt pour l'évaluation, faisant l'objet de la partie suivante.

IV.2 - Etape ascendante d'évaluation du système de supervision réalisé

L'étape ascendante de la méthodologie (voir la figure 5) est indispensable pour évaluer le système de supervision conçu et réalisé dans l'étape précédente. Les critères d'évaluation tiennent compte des performances du système homme-machine global, exprimés en termes d'écart entre la production réelle et les objectifs, et également de critères ergonomiques permettant d'évaluer les difficultés rencontrées par les opérateurs lors de l'exécution des tâches. La problématique de l'évaluation rend nécessaire la définition de protocoles expérimentaux rigoureux.

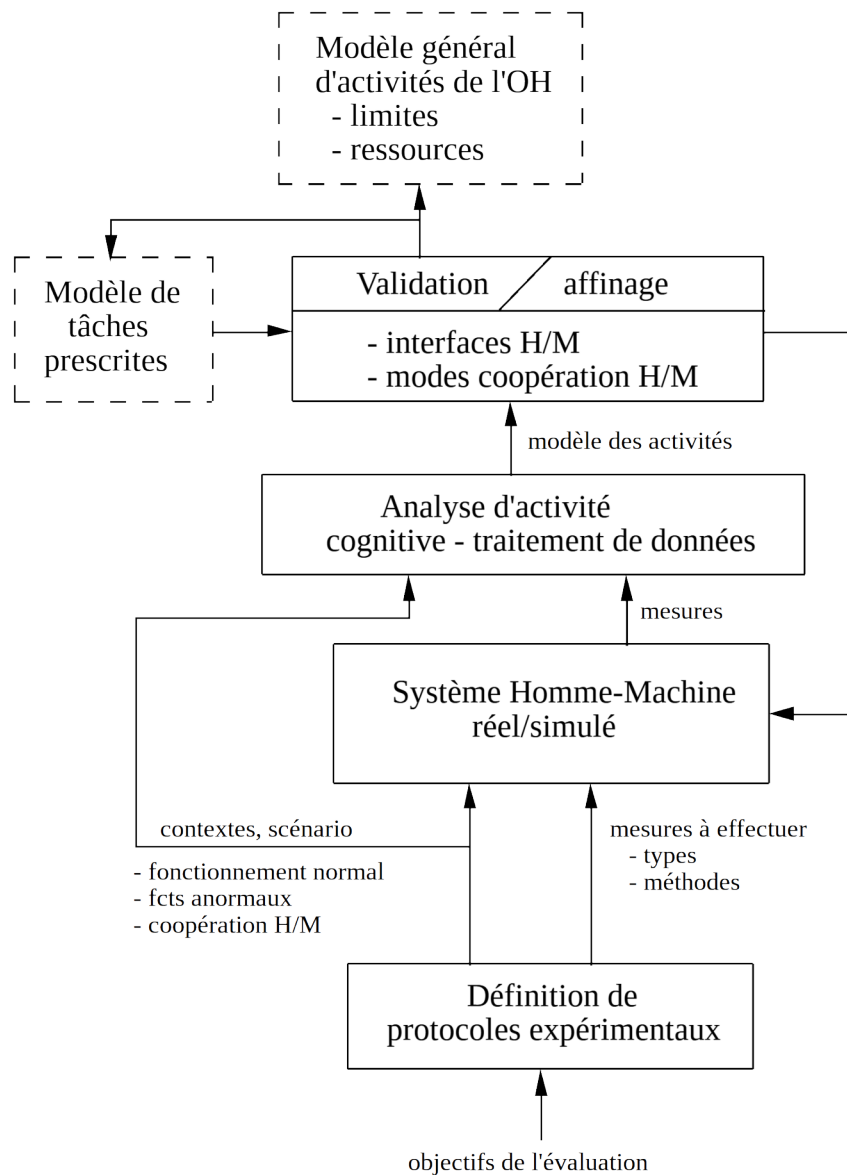


Figure 5 : Etape ascendante de la méthodologie de conception (d'après Millot et Roussillon, 1991)

D'après Millot (1990), la non observabilité directe des paramètres significatifs des difficultés de l'opérateur à effectuer des tâches de supervision complique considérablement l'évaluation ergonomique et impose d'en construire des observateurs, à partir : (i) de paramètres directement observables, comme les séquences d'actions effectués par les opérateurs, (ii) de paramètres estimés par des méthodes subjectives comme la charge de travail, la fatigue, (iii) ou enfin de paramètres estimés à partir d'un modèle, comme certaines activités cognitives.

En réalité, la multiplicité des paramètres qu'il est nécessaire d'observer ou d'estimer est liée d'une part à la complexité du comportement humain et d'autre part, au fait que chacun de ces paramètres n'est pas assez représentatif individuellement et pas assez affiné pour caractériser à lui seul l'état du système "opérateur humain exécutant une tâche de supervision". Ces paramètres sont évalués à partir de méthodes d'analyse d'activité.

L'analyse de l'activité de l'opérateur de supervision nécessite des protocoles expérimentaux rigoureux sur plusieurs opérateurs différents (éventuellement), qui consistent à placer le système homme-machine dans les contextes choisis dès le début de l'étape descendante et à mesurer et enregistrer les performances du système homme-machine, les entrées (informations délivrées par l'interface) et les sorties (actions) de chaque opérateur de supervision, mais également son comportement gestuel (ses déplacements, par exemple pour aller chercher des informations dans des documents papier ou électroniques), ses stratégies visuelles par des méthodes oculométriques (Acier, 1990 ; Abed, 1990) et sa charge de travail (Millot, 1988 ; Kamoun, 1989).

Nous reportons le lecteur à ces références bibliographiques pour de plus amples détails sur ces méthodes d'analyse d'activités. Le lecteur soucieux d'aller plus loin dans ce domaine étudiera par exemple les ouvrages de Faverge (1972) ou Wilson et Corlett (1990). Il pourra également contacter des équipes de recherche travaillant dans le domaine de l'Automatique Humaine, de l'Ergonomie ou de la Psychologie du Travail.

Les entrées et les actions des opérateurs de supervision, ainsi que leur comportement gestuel et visuel sont analysés et si besoin rejoués en différé aux opérateurs, afin d'obtenir de leur part des explications complémentaires sur leur comportement et ainsi de déduire le raisonnement qui les a conduit à exécuter les actions en réponse aux informations qui leur étaient présentées. Bien entendu, la mise en évidence de ce raisonnement humain doit être éclairé par la connaissance des ressources cognitives particulières mises en jeu par l'opérateur testé.

Les données fournies par l'analyse des activités de l'opérateur de supervision sont exploitées par la suite pour l'amélioration des conditions de travail de l'opérateur et de l'efficacité du système homme-machine.

Les données ergonomiques résultant de l'analyse des activités de l'opérateur de supervision doivent permettre d'affiner ou de généraliser le modèle décisionnel de l'opérateur de supervision proposé dans le début de l'étape descendante et également le modèle des tâches qui en découle. En ce sens l'analyse d'activité est au travail réel ce que l'analyse des tâches est au travail prescrit. De ce fait, l'approche doit pouvoir s'appuyer sur les méthodes d'extractions des connaissances développées par les sciences cognitives et utilisées par ailleurs pour remplir les bases de connaissances des systèmes d'intelligence artificielle.

Un second objectif de l'analyse d'activité est de vérifier l'adéquation des informations présentées par l'interface réalisée, avec les informations attendues par les opérateurs de supervision et nécessaires pour effectuer le raisonnement évoqué ci-dessus. Ceci conduit alors à affiner les interfaces, si nécessaire, par exemple si certaines informations manquent ou sont mal présentées.

V - CONCLUSION

En raison de la problématique liée aux activités de supervision, la conception d'un système homme-machine de supervision doit se baser sur une méthodologie ergonomique rigoureuse.

C'est donc à partir d'une synthèse de techniques et de méthodes éprouvées, issues de l'ergonomie, de la psychologie du travail et de l'automatique humaine, que cette présentation se propose d'inculquer au lecteur des notions essentielles liées aux facteurs humains lors de la conception d'un système homme-

machine. Comme l'ont montré par exemple de nombreux projets de conception de système de contrôle de procédés industriels, la prise en compte de ces notions aura une influence certaine sur la réussite d'un projet de conception d'un système de supervision, sur l'impact du système de supervision auprès de ses utilisateurs, ainsi que sur l'efficacité du système homme-machine global. La réussite du projet nécessitera une collaboration étroite entre tous les intervenants du processus de conception : décideurs, utilisateurs, spécialistes des aspects techniques et spécialistes des aspects humains, intervenants extérieurs.

REMERCIEMENTS

Je remercie le Professeur Patrick Millot qui a participé activement à la rédaction de certaines parties de cette synthèse.

BIBLIOGRAPHIE

- ABED M., 1990.** Contribution à la modélisation de la tâche par outils de spécification exploitant les mouvements oculaires : application à la conception et à l'évaluation des interfaces homme-machine. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, France, Septembre 1990.
- ACIER B., 1990.** Contribution à la conception et à l'évaluation d'interfaces Homme-Machine par l'analyse du comportement visuel d'un superviseur humain. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, France, Janvier 1990.
- CAKIR A., HART D.J., STEWART T.F.M., 1980.** Les terminaux à écran : agencement, ergonomie, organisation. Les Editions d'Organisation, Paris, 1980.
- CARNINO A., IDEE E., LARCHIER BOULANGER J., MORLAT G., 1986.** Les erreurs de représentation : pourquoi certaines peuvent être qualifiées de diaboliques. HN/GRETS/86007, EDF, Direction des études et de la recherche, Février 1986.
- CAZAMIAN P., 1987.** Traité d'ergonomie. Editions Octares Entreprises, Paris, 1987.
- CELLIER J.M., 1990.** L'erreur humaine dans le travail. In J. Leplat et G. De Terssac. éditeurs, Les Facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes, Edition Octarés, Marseille, 1990.
- DANIELLOU F., 1986.** L'opérateur, la vanne, l'écran : l'ergonomie dans les salles de contrôle. Montrouge, ANACT, collection "Outils et Méthodes", 1986.
- DE KEYSER V., 1988.** De la contingence à la complexité : l'évolution des idées dans l'étude des processus continus. Le Travail Humain, 51 (1), 1988.
- DE KEYSER V., DECORTIS F., HOUSIAUX A., VAN DAELE A., 1987.** Les communications homme-machine dans les systèmes complexes. Rapport politique scientifique FAST n°8, Université de Liège, 1987.
- DE MONTMOLLIN M., 1967.** Les systèmes hommes-machines. Paris, PUF, 1967.
- DE MONTMOLLIN M., 1974.** L'analyse du travail préalable à la formation. Paris, Armand Collin, 1974.
- FADIER E., 1990.** Fiabilité humaine : méthodes d'analyse et domaines d'application. In J. Leplat et G. De Terssac. éditeurs, Les Facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes, Edition Octarés, Marseille, 1990.
- FAVERGE J.M., 1972.** L'analyse du Travail. Dans : "Traité de Psychologie Appliquée", tome 3, pp. 5-60, Paris, PUF, 1972.
- GILMORE W.E., GERTMAN D.I., BLACKMAN H.S., 1989.** User-computer interface in process control. A Human Factors engineering handbook. Academic Press.
- GRANDJEAN E., 1983.** Précis d'ergonomie. Les Editions d'Organisation, Paris, 1983.
- HOUSIAUX A., 1988.** Supports d'information centralisés et diagnostic en situation d'urgence dans un centre néo-natal. Le Travail Humain, tome 51, n°1, 1988.
- KAMOUN A., 1989.** Contribution à la répartition dynamique des tâches entre opérateur et ordinateur pour la supervision des procédés automatisés. Thèse de Doctorat, L.A.I.H., Université de Valenciennes, Avril 1989.
- KOLSKI C., 1989.** Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine dans les procédés continus : application au système expert SYNOP. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, Janvier 1989.

- KOLSKI C., GAMBIEZ F., 1991.** Télémaintenance de systèmes automatisés, guide ergonomique de conception. Rapport établi dans le cadre de la convention L.A.I.H./B+ Development, LAIH, Université de Valenciennes, Septembre 1991.
- KOLSKI C., TENDJAOUI M., MILLOT P., 1990.** An "intelligent" interface approach. The second International Conference on "Human aspects of advanced manufacturing and hybrid automation", Honolulu, Hawaii, USA, August 12-16, 1990.
- LEPLAT J., 1985.** Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail. Armand Colin Editeur, Paris, 1985.
- MILLOT P., 1988.** Supervision des procédés automatisés et ergonomie. Editions Hermes, Paris, Décembre 1988.
- MILLOT P., 1990.** Coopération homme-machine : exemple de la téléopération. Journées du GR Automatique, 17-19 Octobre 1990, Strasbourg, France.
- MILLOT P., ROUSSILLON E., 1991.** Man-Machine Cooperation in Telerobotics : Problematics and Methodologies. Second France Israël Symposium on Robotics, Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires, Gif sur Yvette, Avri 1991.
- NOTTE D., 1986.** Ergonomie, applications informatiques dans les processus industriels continus : le point de vue des opérateurs. L'homme et l'écran : aspects de l'ergonomie en informatique, Actes du congrès de Nivelles : l'ergonomie en informatique, Editions de l'Université de Bruxelles, Belgique, 1986.
- RASMUSSEN J., 1980.** The human as a system component. In H.T. SMITH and T.R.G. GREEN Editors , Human Interaction with Computer, London Academic Press, 1980.
- REASON J., 1987.** A framework for classifying errors. New Technology and Human Error, J. Rasmussen and J. Leplat (Eds.), Wiley and Sons, Chichester, 1987.
- ROUSE W.B., 1983.** Models of human problem solving : detection, diagnosis and compensation for system failures. Automatica, vol. 19, no 6, November 1983.
- ROUSE W.B., ROUSE S.H., 1983.** Analysis and classification of human error. IEEE trans. syst. man and Cybern., SMC-13, p. 539-549, 1983.
- SCAPIN D., 1986.** Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. Rapport technique, INRIA, 77, Le Chesnay.
- SENACH B., 1990.** Evaluation ergonomique des interfaces homme-machine : une revue de la littérature. Rapport de recherche, INRIA, Sophia Antipolis.
- SPERANDIO J.C., 1988.** L'ergonomie du travail mental. Editions Masson, Paris, 1988.
- SHERIDAN T.B., 1985.** Forty-five years of man-machine system : history and trends. 2nd IFAC Congress: Analysis, design and Evaluation of Man-Machine Systems, Varese, September 1985.
- SPERANDIO J.C., 1980.** La psychologie en ergonomie. Paris, PUF, 1980.
- SPERANDIO J.C., 1988.** L'ergonomie du travail mental. Editions Masson, Paris, 1988.
- VAN DAELE A., 1988a.** Réduire l'écart entre la conception et l'évaluation des aides logicielles à l'opérateur : contribution de l'analyse de l'activité. Dans De Keyser et Van Daele, L'ergonomie de conception, Edition Deboeck, Bruxelles, 1988.
- VAN DAELE A., 1988b.** L'écran de visualisation ou la communication verbale ? Analyse comparative de leur utilisation par des opérateurs de salle de contrôle en sidérurgie. Le Travail Humain, tome 51, n°1, 1988.
- VILLEMEUR A., 1988.** Sécurité de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteur humain, informatisation. Eyrolles, Paris, 1988.
- WILSON J.R., CORLETT E.N. (eds.), 1990.** Evaluation of human works : a practical ergonomics methodology. Taylor & Francis, pp. 890,1990.