

# CONCEPTION DES SYSTÈMES DE TRAVAIL : L'APPLICATION DES NORMES EN ERGONOMIE PERMET-ELLE D'AMÉLIORER LA SÉCURITÉ ?

Comme le montrent de nombreux exemples dans le domaine des systèmes de conduite de process, l'intégration des facteurs humains à la conception des systèmes de travail reste insuffisante. Cela se traduit par des dysfonctionnements affectant l'efficacité, l'efficience, la sécurité et la fiabilité des systèmes, la performance et la charge de travail des opérateurs et, par voie de conséquence, la performance des systèmes. Cette prise en compte insuffisante des facteurs humains s'explique sans doute par un manque de connaissances dans ce domaine chez les concepteurs, les constructeurs et les utilisateurs, mais aussi par leur difficulté à prendre la mesure des exigences réglementaires en la matière. L'intégration de la sécurité à la conception d'un système est souvent considérée comme un problème d'ordre purement technique, dans lequel les facteurs humains ne jouent qu'un rôle mineur. Or, il est établi que la prise en compte de ces facteurs améliore la performance des opérateurs et du système. Après un aperçu des travaux de normalisation dans le domaine des facteurs humains, on évoquera les problèmes liés à l'application des normes, notamment en ce qui concerne les essais de conformité, et on présentera les travaux entrepris pour tenter de résoudre ces problèmes, en particulier la révision des normes fondamentales, qui pourraient être complétées par une norme d'évaluation. L'application des normes n'est qu'un premier pas vers l'intégration des facteurs humains au processus de conception. Elle devrait cependant permettre de sensibiliser les concepteurs, les constructeurs et les utilisateurs à cette démarche et aux possibilités qu'elle offre pour améliorer la qualité de la conception et optimiser la performance et la sécurité des systèmes.

De nombreux exemples pris dans différents secteurs de l'industrie ou des services montrent que les facteurs humains ne sont pas suffisamment pris en compte au stade de la conception (et du fonctionnement) des systèmes de travail, même lorsqu'il s'agit de systèmes relativement complexes comme les systèmes de conduite de process sur les installations à risque (cf. Exemples dans [1]). Ce constat vaut aussi bien pour la conception de la (des) tâche(s) de travail et des activités de l'opérateur - l'interface dite de tâche - que pour la conception des équipements de travail et de l'interface entre ces équipements et l'opérateur - l'interface dite d'interaction - ; que ces interfaces

soient réalisées au moyen de solutions matérielles ou logicielles (les solutions de type logiciel font appel à des technologies génériques, permettant d'adapter presque totalement le sous-système technique aux caractéristiques de la population d'opérateurs visée). Il faut noter que l'ordre dans lequel sont envisagées ces deux interfaces est primordial, car la conception des systèmes ne peut pas être performante si l'on applique une interface d'interaction bien conçue à une interface de tâche mal conçue (priorité de la tâche [2]).

Cette prise en compte insuffisante des facteurs humains ou de l'ergonomie pour adapter ces deux interfaces à l'opé-

- Conception
- Ergonomie
- Normalisation

► *Friedhelm NACHREINER, Gesellschaft für Arbeits-, Wirtschafts- und Organisationspsychologische Forschung, Allemagne*

## APPLYING ERGONOMICS STANDARDS IN THE DESIGN OF WORK SYSTEMS : MEANS FOR IMPROVING THE SAFETY RELATED DESIGN QUALITY OF WORK SYSTEMS ?

As can be demonstrated by a number of examples from process control systems human factors are not well integrated and observed in the design of work systems, which must lead to dysfunctional consequences with regard to system effectiveness, efficiency, safety, and reliability as well as to operator performance and work load, which in turn will influence system performance. One of the reasons for this inadequate consideration of human factors in the design process might be a lack of acquaintance of designers, manufacturers and customers with human factors and their uncertainty of what existing legal requirements to take human factors into account really mean. Another reason might be that designing safety into a system is often considered a purely technical problem, with human factors playing only a minor role. However, as can be demonstrated, taking human factors into account improves operator and system performance. After presenting a short overview of standardization activities in the field of human factors problems with the application of these standards are discussed, especially with regard to testing compliance with these standards, and a brief account of ongoing activities to overcome these problems is presented, e.g. the revision of the basic standards with the possible inclusion of an evaluation standard. Applying human factors standards is considered a first step only for integrating human factors into the design process, which can make designers, manufacturers and customers aware of this field and the opportunities it has to offer to improve the design quality of work system with regard to system performance and safety.

- Design
- Ergonomics
- Standardization

rateur se traduit inévitablement par une augmentation de la charge de travail mental et des contraintes et astreintes pesant sur l'opérateur, ainsi que des effets néfastes de ces astreintes - fatigue, monotonie, hypovigilance, notamment (voir la définition de ces termes dans la norme ISO 10075 [3, 4]), ce qui entraîne un risque accru d'erreurs humaines et, par voie de conséquence, de défaillances des systèmes. Il y a donc une incidence sur la sécurité fonctionnelle des systèmes, leur performance, leur fiabilité et leur disponibilité, ainsi que sur les risques pour la santé et le bien-être des opérateurs.

Ce manque de prise en compte des facteurs humains ou de l'ergonomie s'explique sans doute - au moins en partie - par le fait que la conception des systèmes de travail est encore considérée comme un problème essentiellement (voire exclusivement) technique. L'opérateur humain n'intervient qu'à la fin du processus de conception, soit comme un composant chargé des tâches « restantes », trop coûteuses à automatiser (il s'agit alors de motifs économiques), soit parce que, sur les systèmes présentant un niveau de risque élevé, l'absence d'opérateur humain ne serait pas acceptable pour le grand public (en cas d'urgence pourtant, la commande du système est entièrement automatisée, comme le montrent les exemples de l'industrie chimique ou du nucléaire, notamment [5, 6]).

À ces motifs de non-application (intentionnelle ou non) des principes de l'ergonomie ou des facteurs humains dans la conception des systèmes de travail s'ajoute sans doute la méconnaissance, chez les acteurs concernés - les concepteurs et les utilisateurs - des principes et/ou des résultats de la recherche en ergonomie ; en effet, cette discipline ne semble pas occuper une grande place dans la formation des concepteurs - du moins en Allemagne, où le cursus des ingénieurs mécaniciens et des informaticiens ne comporte pas de formation sérieuse dans ce domaine. On ne peut donc pas s'attendre à ce que l'ensemble des concepteurs (et des utilisateurs) soient bien informés des travaux sur les facteurs humains et de l'importance des principes ergonomiques pour la conception (et le fonctionnement) des systèmes de travail ; de ce fait, les solutions retenues sont souvent loin d'être optimales.

Si l'on ajoute à cela une tendance à considérer que les systèmes automatisés sont en général plus performants, et à croire en leur fonctionnement déterministe et en leur infailibilité, il n'y a rien d'étonnant

à ce que les opérateurs humains et leurs caractéristiques soient considérés comme source de problèmes et quantité négligeable, les solutions techniques étant là pour garantir la sécurité fonctionnelle [5].

Cette façon de voir, alors même qu'il y a encore des opérateurs humains dans certains de ces systèmes (on se demande d'ailleurs bien pourquoi), conduit inévitablement à des solutions qui sont loin d'être optimales pour ce qui est de l'efficacité, de l'efficience, de la fiabilité et de la sécurité des systèmes, d'une part, et de la santé et de la performance des opérateurs, d'autre part.

Bon nombre d'accidents industriels ont montré que cette stratégie ne pouvait pas donner de bons résultats, du moins tant que les systèmes feront appel à des opérateurs humains pour remplir certaines fonctions essentielles. Il est donc indispensable d'accorder aux facteurs humains et à l'ergonomie des systèmes de travail toute l'attention qu'ils méritent, afin de concevoir des systèmes compatibles avec les caractéristiques des opérateurs. Aussi longtemps que la conception et le fonctionnement des systèmes de travail feront appel aux opérateurs humains et à leurs activités au sein du système, il faudra tenir compte de ces activités de travail (et des activités des opérateurs), de leurs bases, de leurs mécanismes de contrôle et de régulation, de leur ordre séquentiel et hiérarchique, ainsi que de leurs limites, de leurs points forts et de leurs effets, aussi bien sur le système que sur l'opérateur. En réalité, à partir du moment où il y a une interface homme-machine, que ce soit une interface de tâche ou d'interaction, sa conception doit être centrée sur l'opérateur, car si les composants techniques offrent un large choix de possibilités et de solutions de conception, en particulier grâce aux systèmes informatiques et logiciels génériques, la capacité d'adaptation de l'homme est relativement limitée.

Il est donc essentiel de sensibiliser les concepteurs (et les utilisateurs) à l'importance des facteurs humains, à leur place dans le processus de conception (en insistant sur la nécessité d'intégrer *a priori* l'ergonomie à la conception du système, au lieu de recourir à des mesures *a posteriori*, généralement beaucoup plus onéreuses) et à l'intérêt des acquis de l'ergonomie pour la conception des systèmes.

Un autre aspect à prendre en compte dans ce contexte est l'existence, du

moins au sein de l'Union européenne, de dispositions réglementaires imposant la prise en compte des facteurs ergonomiques. Il ne s'agit donc pas de se faire plaisir en ajoutant un peu d'ergonomie ici ou là dans la conception des systèmes de travail, mais bien, dans certains cas, de répondre à une obligation légale. Les directives européennes applicables dans ce domaine (directive Machines, directive Cadre, directive sur les écrans de visualisation, directive Seveso II, notamment) répondent à deux types d'objectifs (correspondant à des articles différents des Traités européens) : elles définissent d'une part des exigences minimales en matière de santé et de sécurité au travail, visant au rapprochement des conditions de vie et de travail (article 137) et, d'autre part, des exigences relatives à la sécurité des machines, visant à lever les entraves à la libre circulation des marchandises au sein de l'Union européenne (article 95).

Ces directives, tout comme leurs transpositions ou d'autres textes réglementaires applicables au niveau national, se limitent généralement à fixer des objectifs à atteindre (obligation de résultat) mais ne précisent pas les moyens à mettre en œuvre. Elles demandent que les solutions adoptées soient conformes à l'état de la science et des techniques, c'est-à-dire, dans notre cas, aux règles de l'art en matière de facteurs humains et d'ergonomie. Encore faut-il savoir quelles sont ces règles pour ce qui est de la conception des systèmes de travail ou de leurs équipements techniques. Les divers ouvrages et manuels traitant de ces questions ne reflètent bien souvent que le point de vue de leurs auteurs, et n'apportent donc pas les solutions recherchées.

C'est pour ces raisons qu'à différents niveaux - national, européen, international - est née l'idée d'élaborer des normes (si possible européennes ou internationales) relatives à l'ergonomie ; l'objectif est de fournir aux concepteurs (et aux utilisateurs) des systèmes de travail, ainsi qu'aux responsables d'exploitation, un état de l'art faisant l'objet d'un consensus, et de préciser les mesures applicables pour répondre aux exigences de la réglementation en matière d'application de l'ergonomie à la conception des systèmes de travail.

## NORMES EN ERGONOMIE

Les sous-comités et/ou groupes de travail du Comité technique TC 159 « Ergonomie » de l'ISO et du Comité technique TC 122 « Ergonomie » du CEN ont élaboré un certain nombre de normes portant sur la conception des systèmes de travail et de leurs composants. Ces normes pourraient être appliquées au processus de conception et à l'évaluation des solutions de conception, bien qu'il manque encore une norme spécifique sur l'évaluation de la conception des systèmes de travail. Au total, 22 normes internationales (Rapports techniques compris), 54 normes européennes et internationales (ISO EN), 24 normes européennes (normes CEN) et un nombre variable de normes nationales (22 normes DIN en Allemagne, par exemple) ont été élaborées dans le domaine de l'ergonomie, auxquelles s'ajoutent diverses normes relevant de domaines connexes (sécurité des machines, TIC, éclairage, notamment), émanant de différents comités [situation à fin 2005].

Les normes internationales sur l'ergonomie ont trait soit à des aspects généraux, indépendants d'un contexte d'application particulier - c'est le cas des normes traitant à titre général de la conception des systèmes de travail (ISO 6385:2004 [7]) ou de la charge de travail mental (série ISO 10075 [3, 4]) -, soit à des aspects particuliers ou liés à un contexte spécifique comme le travail de bureau (série ISO 9241 [8, 9]) ou les centres de commande (série ISO 11064 [10]). Alors que les normes générales s'appliquent à tout type de systèmes de travail - et parfois même aux équipements grand public ou de loisirs - les normes contextuelles se limitent en principe au seul contexte pour lequel elles ont été définies (travail de bureau, centres de commande, par exemple), avec là encore des applications dépassant parfois ce contexte. C'est notamment le cas des normes relatives au dialogue homme-machine, dont les spécifications ont été établies dans un premier temps pour les environnements de bureau (ISO 9241-10 [8] sur les principes de dialogue ou ISO 9241-11 [9] sur l'utilisabilité des produits logiciels, par exemple), mais dont l'expérience a montré que certains principes pouvaient également s'appliquer - du moins à terme, en partie ou moyennant d'éventuelles adaptations - à d'autres contextes (en particulier aux environnements de conduite de process) [11]. Le principe de

tolérance aux erreurs, par exemple, ne peut s'appliquer à des systèmes de conduite de process que sous une forme modifiée/ adaptée, la fonction « annulation », en particulier, n'étant pas applicable à ce type de système en temps réel. Les alarmes, les systèmes destinés à bloquer certaines actions de l'opérateur ou les systèmes prédictifs jouent naturellement un rôle beaucoup plus important dans ce contexte que dans un environnement de bureau.

Une brève description des sous-comités du TC 159 et de leurs domaines fournit un bon aperçu des sujets traités actuellement dans le cadre de la normalisation en ergonomie :

- Le Sous-comité (SC) 1 étudie les principes directeurs en ergonomie, en particulier : termes généraux et définitions, concepts de base, principes de conception des systèmes de travail, charge de travail mental, utilisabilité des produits de la vie quotidienne.

- Le SC 3 travaille sur l'anthropométrie et les biomécanismes, donc sur les paramètres physiques classiques intervenant dans la conception des systèmes de travail.

- Le SC 4, Ergonomie de l'interaction homme/système, traite des problèmes liés à la conception de (sous-)systèmes techniques interactifs, c'est-à-dire assistés par ordinateur, notamment de la philosophie de conception de ce type de systèmes (ISO 13407 [12]). Il étudie les problèmes de conception des dispositifs de signalisation et des organes de service et, plus généralement, la conception d'interfaces assurant l'interaction entre l'homme et la machine, notamment les principes de conception du dialogue homme-système. C'est ce SC qui a élaboré et qui met à jour les normes relatives au travail sur écran en environnement de bureau et celles relatives aux centres de commande, bien que ces deux environnements de travail fassent intervenir d'autres aspects que le seul dialogue homme-machine (configuration du poste de travail, conception de l'environnement de travail, notamment). Il a toutefois été décidé d'aborder ces questions dans leur contexte et de ne pas séparer des aspects indissociables allant, pour les centres de commande, par exemple, de la configuration du poste de travail à la conception du dialogue, afin que les concepteurs (et les décideurs) puissent trouver dans une même série de normes l'ensemble des informations relatives à la conception et au fonctionnement de ces systèmes de travail.

- Le SC 5, qui s'occupe de l'ergonomie

de l'environnement physique, a élaboré une série de normes internationales (aussi bien générales que spécifiques) sur les problèmes d'ambiance thermique ; les aspects généraux de l'éclairage sont traités par un comité de la CEI. Le SC 5 étudie également la communication verbale et les signaux de danger.

Comme le montre cette brève présentation des activités de normalisation, il existe déjà tout un corpus de normes en ergonomie facilement applicables à la conception et au fonctionnement des systèmes de travail. Mais quand on vérifie la conformité des systèmes de travail existants à ces normes, on s'aperçoit vite que les normes ne sont pas toujours correctement appliquées au stade de la conception. Ce non-respect des normes concerne non seulement le processus de conception (cf. Le document de Papin [6] sur le nucléaire en France ; l'ergonomie semble intervenir assez tardivement dans le processus de conception, au lieu d'y être intégrée dès le début comme le préconisent les normes ISO 6385 [13, 14], ISO 10075-2 [4] et ISO 13407 [12]), mais également les résultats de ce processus, à savoir encore une fois aussi bien l'interface de tâche que l'interface d'interaction. Les violations des principes ergonomiques vont des plus simples à corriger (non-respect des principes de compatibilité avec les stéréotypes de la population, par exemple, dans le cas de valeurs s'affichant dans un ordre décroissant de gauche à droite alors que l'opérateur attendrait l'inverse, à savoir des valeurs croissantes de gauche à droite, ce qui est facile à reprogrammer) à des problèmes plus graves et parfois impossibles à corriger, du moins à un coût raisonnable (erreur dans la répartition des fonctions entre l'opérateur et la machine en ce qui concerne l'obtention de l'arrêt total de l'installation, par exemple).

Il serait intéressant de compléter les données recueillies ponctuellement sur le terrain (notamment dans le cadre de l'analyse des risques majeurs [15]) par une analyse systématique des types de recommandations ergonomiques qui ne sont pas suivies et des raisons pour lesquelles elles ne le sont pas. On pourrait ainsi évaluer l'ergonomie des systèmes de conduite de process existants en se référant aux exigences des normes en ergonomie, et déterminer les conséquences possibles du non-respect des normes sur la sécurité fonctionnelle, l'efficacité, l'efficience et le bien-être des opérateurs. L'une des difficultés de ce

type d'évaluation tient au fait qu'il n'existe pas encore de norme applicable à l'évaluation de l'ergonomie de conception des systèmes de travail. Du moins l'étude comparative de différentes solutions de conception intégrant à des degrés divers les principes de l'ergonomie permettrait-elle de déterminer si l'ergonomie a réellement une incidence sur la conception. Les analyses d'accidents évoquées précédemment semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle les facteurs humains jouent un rôle décisif pour la sécurité dans la conception de systèmes de travail. Une autre méthode, pour vérifier l'importance des facteurs humains, pourrait consister à analyser différentes options de conception sur simulateur, ce qui offrirait l'avantage d'une meilleure maîtrise des facteurs de confusion. Les premiers résultats obtenus par notre laboratoire [1, 16, 17] semblent indiquer que l'intégration des facteurs humains à la conception des systèmes a bien des effets sur les activités des opérateurs, leurs performances, la charge de travail et l'efficacité du système. Cependant, il se pourrait qu'il y ait aussi de fortes interactions entre les caractéristiques de conception, les modes de fonctionnement et les tâches/activités spécifiques des opérateurs au sein de la conduite de process, ce qui pourrait bien interdire toute généralisation simple et compliquer considérablement la formulation de recommandations [16].

Ces résultats incitent à penser qu'il faudrait à la fois des dispositions plus générales et des dispositions plus spécifiques (ou contextuelles) dans les normes en ergonomie : plus générales dans le sens où il conviendrait de définir des principes généraux adaptables au cas par cas au contexte et à la tâche, et plus spécifiques dans le sens d'une définition des conditions dans lesquelles s'applique telle ou telle recommandation / spécification et de la forme à privilégier (exigences relatives à la présentation de l'information selon le mode de fonctionnement du système - fonctionnement normal / dysfonctionnement, par exemple) lorsqu'il est possible et utile d'opérer ce type de distinction. Il sera intéressant de voir comment l'ISO/CD 11064-5 [10], en cours d'élaboration, résoudra ces problèmes.

Encore faut-il savoir comment vérifier la conformité aux normes. Cela ne devrait pas poser de problème lorsqu'il s'agit de caractéristiques physiques clairement spécifiées, comme la taille de la

police pour un affichage sur écran à une distance donnée (ce type d'exigence est d'ailleurs rarement respecté). Il en va de même pour la plupart des dispositions relatives à l'environnement physique. Les « normes de spécifications » ne posent pratiquement pas de problème. Ce n'est pas le cas, en revanche, des normes du type « lignes directrices » (qui ne peuvent énoncer que des principes ou des orientations, dans des domaines où il est impossible de formuler des dispositions applicables quel que soit le contexte), ni même des normes plus spécifiquement contextuelles comme les normes de la série 9241 [8, 9] sur l'ergonomie des logiciels pour le travail de bureau. Bien que l'on se soit efforcé d'indiquer dans ces normes les modalités de contrôle de la conformité, un examen approfondi montre qu'il est impossible de vérifier et de prouver la conformité (notamment la conformité totale) aux principes généraux, si des critères précis n'ont pas été définis au préalable. En revanche, il est généralement facile de démontrer la non-conformité, tout défaut de conformité constituant une démonstration de non-conformité. Il y a donc présomption de conformité tant qu'il n'a pas été établi que l'une des dispositions de la norme n'est pas respectée - à l'issue, bien entendu, d'essais appropriés, qui devraient d'ailleurs être spécifiés dans la norme elle-même.

Cela pose sans nul doute un problème pour les évaluations sommatives, dont l'objectif est de prouver la conformité ou la non-conformité à une norme, toute violation, quelle qu'en soit la gravité, se traduisant par une déclaration de non-conformité. C'est là précisément l'une des difficultés inhérentes aux essais de conformité de logiciels. La question est de savoir si toute violation de la norme doit entraîner une déclaration de non-conformité ou s'il faut une violation grave, ce qui amène à se demander si le degré de gravité est quantifiable selon ce type de lignes directrices. Il faudrait pouvoir établir si une violation (jugée mineure) peut être compensée par le fait que d'autres caractéristiques dépassent l'exigence ou les exigences minimale(s) - ce qui pose à nouveau problème avec les lignes directrices (à quel moment peut-on dire qu'une caractéristique va au-delà des exigences de la norme ?). Les normes ne fournissent aucune indication sur ces points. L'évaluation formative, en revanche, ne présente pas de difficulté ; elle a pour objet d'améliorer la solution de concep-

tion par rapport à toute autre solution possible. Une évaluation des solutions de conception par rapport à une norme (et aux principes et règles de l'art qui y figurent) permet de mettre rapidement en évidence les domaines où l'on peut (encore) améliorer la conception. La question des améliorations éventuellement nécessaires pour être en conformité avec la réglementation ou les engagements contractuels reste néanmoins entière.

Il ne faut pas oublier que la plupart des normes en ergonomie ont été élaborées pour les besoins de la conception et non de la certification, celle-ci semblant toutefois prendre plus d'importance depuis quelques années. Compte tenu de cette tendance dans le domaine des exigences réglementaires ou des engagements contractuels (entre fabricants et clients ou entre direction et représentants du personnel), il semble nécessaire d'élaborer une norme donnant des lignes directrices pour l'évaluation tant formative que sommative de l'ergonomie des systèmes de travail. Cela rendrait les normes existantes dans ce domaine plus utiles et plus à même d'améliorer la qualité de conception des systèmes de travail.

Il semble en outre nécessaire de restructurer et d'adapter à cette fin le corpus de normes. C'est précisément l'objectif poursuivi par la seconde révision de l'ISO 6385. En faisant l'inventaire des normes internationales et européennes existantes, on s'est aperçu que les dispositions applicables se trouvaient dans différentes normes, ce qui les rend difficiles d'accès, et que certaines spécifications se trouvaient dans plusieurs normes. Il a donc été décidé de réviser les normes en ergonomie et de définir les principes de base dans une norme générale - renvoyant à des normes spécifiques pour des dispositions plus précises. L'ISO 6385 étant la norme de base en ergonomie, on envisage actuellement une révision complète de ce texte. L'idée est de transformer cette norme en une série de normes composée de plusieurs parties, où seraient décrits les principes de base. On aurait ensuite un nombre (à définir) de normes traitant de ces principes de base de manière un peu plus détaillée et indiquant où trouver les spécifications correspondantes. À ce jour, la structure comprendrait une première partie présentant le « credo » de l'ergonomie, ses fondements, les termes et définitions de base applicables dans toutes les autres parties, et des notions de base comme le modèle homme-machine ou le concept contrainte-astreinte ; la charge de travail

de l'opérateur et ses réactions à cette charge de travail seraient définies comme des composantes essentielles, à intégrer à la conception et à l'évaluation des systèmes de travail. L'accent serait donc mis sur le fait que non seulement les performances de l'opérateur (rapidité, erreurs, par exemple), mais aussi ses réactions (astreinte, fatigue et/ou monotonie, notamment) sont cruciales dans l'évaluation d'un système de travail.

La Partie 2 serait consacrée aux principes et aux méthodes de conception du système de travail et détaillerait les tâches de conception correspondantes, depuis la spécification du système jusqu'à la conception des tâches en passant par l'analyse fonctionnelle et l'allocation de fonctions. La conception des tâches pourrait faire l'objet d'une Partie 3, car les concepteurs sont généralement peu conscients de l'importance de la conception des tâches et connaissent mal les principes et critères applicables à cet égard. Les Parties 2 et 3 traiteraient donc de la conception de l'interface de tâche, qui doit intervenir avant la conception de l'interface d'interaction, au sein du système homme-machine, pour une conception adaptée des tâches. L'ordre adopté entre les différentes parties de la norme refléterait cette priorité.

Dans cette logique, la Partie 4 porterait sur la conception des équipements et définirait notamment les principes applicables à la conception des dispositifs de signalisation et des organes de service (donc de l'interface d'interaction) correspondant aux tâches préalablement définies.

La Partie 5 traiterait des principes de conception du poste de travail et la Partie 6 de la conception de l'environnement de travail.

Toutes ces normes (ou parties de la norme de base) pourraient et devraient renvoyer à des normes plus détaillées et plus spécifiques, applicables selon le contexte. Cela permettrait à l'utilisateur de la norme d'avoir une vision plus claire de l'interdépendance des différentes tâches de conception, du point de vue ergonomique, et des domaines où les normes en ergonomie et les ergonomes peuvent apporter une contribution notable à l'amélioration de la qualité de conception d'un système de travail.

Enfin, la Partie 7 définirait les principes applicables à l'évaluation de la qualité de la conception, pour des évaluations

formatives que sommatives, en faisant là encore référence à d'autres normes fournissant des principes directeurs ou des spécifications applicables pour ce type d'évaluations.

On disposerait ainsi d'un corpus de normes plus accessibles aux non-ergonomes, permettant notamment aux concepteurs et aux utilisateurs de mieux comprendre quel est le propos et dans quels cas / comment appliquer utilement les principes d'ergonomie. Cela pourrait se traduire par une meilleure prise en compte de l'ergonomie dans la conception des systèmes de travail, et par une application plus large des données de l'ergonomie telles qu'elles sont retranscrites dans les normes, que leur application ait un caractère volontaire ou obligatoire.

## PERSPECTIVES

L'application de normes en ergonomie à la conception de systèmes de travail complexes, en particulier, ne peut être qu'un premier pas vers l'intégration de l'ergonomie dans la conception des systèmes de travail, qu'il s'agisse du processus de conception lui-même ou des résultats de ce processus. En effet, les normes en ergonomie ne proposeront jamais de solutions clef en main (et spécifiques) pour la conception des systèmes, et ce d'autant moins qu'il s'agit de systèmes complexes. Il ne saurait d'ailleurs en être autrement, la plupart des normes définissant seulement des lignes directrices. Les problèmes de conception spécifiques (or les systèmes de travail complexes et, tout particulièrement, les systèmes de conduite de process, posent des problèmes de conception très spécifiques) requièrent des solutions spécifiques, qui ne peuvent pas être définies a priori dans des normes et nécessitent une bonne connaissance de l'ergonomie.

En revanche, il est possible de définir des principes généraux et quelques règles relativement simples. Mais pour traduire ces principes généraux en solutions de conception spécifiques, il semble nécessaire ou pour le moins préférable de posséder quelques connaissances en ergonomie, notamment sur les mécanismes de régulation et de contrôle des activités de travail (ou des activités des opérateurs), leurs bases, leurs limitations et leurs effets, ainsi que sur l'analyse et la conception des

activités de travail, faute de quoi l'application de ces principes généraux à la résolution de problèmes de conception risque de se traduire par des solutions non opérationnelles. Ces écueils peuvent faire prendre conscience du fait que, pour répondre aux exigences réglementaires ou contractuelles, ou pour accroître le bénéfice potentiel tiré de l'application des normes existantes aux fins, par exemple, d'améliorer la sécurité fonctionnelle, il peut être préférable, voire nécessaire de faire appel d'emblée à des professionnels compétents en ergonomie et de bénéficier ainsi de tous les acquis de cette discipline. Cela pourrait conduire à (re)considérer le rôle fonctionnel des normes en ergonomie dans le processus de conception et dans l'évaluation des solutions de conception.

On a eu tendance, jusqu'ici, à considérer que les normes en ergonomie définissaient les exigences légales ou contractuelles (minimales) applicables en matière de facteurs humains, ce qui est sans doute vrai, mais est loin d'être suffisant. Pour parvenir à une meilleure intégration des facteurs humains, il est également indispensable de motiver ou d'inciter les concepteurs et les utilisateurs à s'intéresser aux facteurs humains et à s'impliquer davantage, ou à faire appel à des professionnels s'ils pensent que leur expérience des facteurs humains, ou les règles de l'art figurant dans les normes en ergonomie, ne leur permettent pas de résoudre les problèmes rencontrés.

L'application des normes relatives à l'ergonomie et aux facteurs humains à la conception de systèmes de travail complexes ne peut être qu'une première étape, relativement féconde et intéressante il est vrai, dans l'amélioration de la sécurité fonctionnelle par l'intégration des facteurs humains au processus de conception (et à ses résultats). L'étape suivante devrait impérativement consister à intégrer véritablement à la conception l'ensemble des connaissances dont on dispose dans le domaine des facteurs humains, en allant au-delà des spécifications (minimales) contenues dans les normes actuelles - même s'il est vrai que l'application de ces exigences minimales aurait déjà une incidence considérable sur l'efficacité, l'efficacité, la sécurité et la fiabilité des systèmes et sur la charge de travail, la santé et la sécurité des opérateurs. Cependant, le fait de se placer dans la perspective des facteurs humains - avec une logique de conception centrée sur l'opérateur - et d'adopter une démarche

professionnelle dans la prise en compte des facteurs humains lors de la conception, devrait permettre d'aller beaucoup plus loin dans la réalisation de ces objectifs. Comme on l'a souligné dans l'introduction, tant qu'il y aura des opérateurs humains dans ces systèmes - et il y a tout lieu de penser qu'il continuera à en être ainsi - la conception des systèmes devra partir des facteurs humains et d'une conception adaptée des activités des opérateurs ; faute de quoi les solutions retenues ne seront pas optimales, et risquent même d'être dangereuses.

Il resterait à voir comment rendre obligatoire l'application d'un certain

nombre de principes de base de l'ergonomie (au moins de ceux qui figurent dans les normes), ou en étendre l'application volontaire à un plus grand nombre d'installations, sachant toutefois que l'application volontaire des normes et, plus généralement, de l'ensemble des connaissances en ergonomie, semble bien être l'exception et non la règle. La législation ou les dispositions contractuelles pourraient faire référence de façon plus explicite aux facteurs humains / à l'ergonomie et aux normes correspondantes (ce qui supposerait que le législateur ou les parties contractantes soient informés de l'existence de ces normes) ; parallèlement ou conjointement à cela, les normes sur les facteurs

humains pourraient aider à sensibiliser davantage les différents acteurs concernés à la contribution que peuvent apporter les données établies, bien mal utilisées jusqu'ici, à l'amélioration de la sécurité fonctionnelle par l'intégration des facteurs humains à la conception et au fonctionnement des systèmes de travail, depuis la conception de tâches de travail adéquates pour les opérateurs jusqu'à la conception d'interfaces d'interaction homme-machine appropriées.

Révisé le : 07/06/2006

Accepté le : 14/09/2006

## BIBLIOGRAPHIE

[1] NICKEL, P., NACHREINER, F. Presentation of information for process control operations – evaluation of design quality by mental workload assessment. In: ISSA Research Section (ed.), Design process and human factors integration: optimising company performance. Proceedings of the International Symposium, Nice, France, 1-3 mars 2006. Paris: INRS, 2006 (CD-Rom).

[2] ULICH, E. - Arbeitspsychologie. Zürich: VdF, 2006.

[3] ISO 10075: 1991 - Principes ergonomiques relatifs à la charge de travail mental. Termes généraux et leurs définitions, Genève, ISO, 1991.

[4] ISO 10075-2: 1996 - Principes ergonomiques relatifs à la charge de travail mental – Partie 2 : Principes de conception, Genève, ISO, 1996.

[5] KAPPELMAIER, R. - "Human Factors - Nutzen und Grenzen", In: VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (Ed.), Anlagen-, Arbeits- und Umweltsicherheit, Düsseldorf, VDI-GVC, 2002, pp. Ü 03:1-6.

[6] PAPIN, B. - Human factors and nuclear systems design: a project-long concern. In: ISSA Research Section (ed.), Design process and human factors integration: optimising company performance. Proceedings of the International Symposium, Nice, France, 1-3 mars 2006. Paris: INRS, 2006 (CD-Rom).

[7] ISO 6385: 2004 - Principes ergonomiques de la conception des systèmes de travail, Genève, ISO, 2004.

[8] ISO 9241-10: 1996 - Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV) - Partie 10 : Principes de dialogue, Genève, ISO, 1996.

[9] ISO 9241-11: 1998 - Exigences ergonomiques pour travail de bureau avec terminaux à écrans de visualisation (TEV) - Partie 11 : Lignes directrices concernant l'utilisabilité, Genève, ISO, 1998.

[10] ISO/CD 11064-5:2005 - Conception ergonomique des centres de commande - Partie 5 : Dispositifs d'affichage et commandes, Genève, ISO, 2005.

[11] NICKEL, P., NACHREINER, F., MEYER, I. - Möglichkeiten und Grenzen der Übertragbarkeit von (software-) ergonomischen Grundsätzen der Dialoggestaltung von Büro- auf Prozessleitsysteme. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) (Ed.), Arbeit + Gesundheit in effizienten Arbeitssystemen. Dortmund: GfA Press, 2004, pp 463-466.

[12] ISO 13407:1999 - Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs, Genève, ISO, 1999.

[13] ISO/WD 6385: 2005 - Ergonomie - Principes ergonomiques de la conception des systèmes de travail - Partie 1 : Conceptions basiques, termes et définitions, Genève, ISO, 2005.

[14] ISO/WD 6385: 2005 - Ergonomie - Principes ergonomiques de la conception des systèmes de travail - Partie 2 : Principe ergonomique de la conception des systèmes de travail, Genève, ISO, 2004.

[15] Health and Safety Executive (ed) - The explosions and fires at the Texaco Refinery, Milford Haven, 24 July 1994. A report of the investigation by the Health and Safety Executive into the explosion and fires on the Pembroke Cracking Company Plant at the Texaco Refinery, Milford Haven on 24 July 1994. London: HSE Books, 1997.

[16] MEYER, I. - Effektivität der Prozessführung und psychische Beanspruchung der Operateure bei unterschiedlich gestalteten Oberflächen eines Prozessleitsystems. Doctoral dissertation, Universität Oldenburg, 2006 (in press).

[17] NACHREINER, F., NICKEL, P., MEYER, I. - "Human factors in process control systems: the design of human-machine interfaces", Safety Science, 2005, 44, 5-26.