

La Classification internationale des limitations fonctionnelles des individus

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a établi en 1980 la Classification internationale des handicaps: déficiences, incapacités et désavantages (CIH), dans laquelle elle fait une claire distinction entre les concepts de maladie, de limitation et de handicap.

Créée pour faciliter la communication internationale, la CIH offre un cadre de référence aux décideurs politiques, d'une part, et aux médecins qui portent un diagnostic sur les suites d'une maladie, d'autre part.

Pourquoi donc un cadre de référence? Pour tenter d'améliorer et d'accroître la participation des personnes souffrant de capacités limitées de longue durée, ainsi que pour proposer deux objectifs:

- la perspective de réadaptation, c'est-à-dire la réinsertion des personnes dans la société, que ce soit dans la vie active, l'école, le foyer, etc.;
- la prévention de la maladie et, dans la mesure du possible, des conséquences de la maladie, comme l'incapacité et le handicap.

La classification est officielle depuis le 1^{er} janvier 1994. Les activités menées depuis lors sont nombreuses et portent plus particulièrement sur des questions comme l'information et la formation destinées à des groupes spécifiques, les règlements assurant la protection des travailleurs, ou encore les demandes pressantes adressées aux sociétés pour qu'elles occupent 5% au moins de travailleurs handicapés. La CIH elle-même doit conduire à l'intégration et à la non-discrimination.

La maladie

Personne n'est à l'abri de la maladie. Certaines maladies peuvent être évitées, d'autres non. Certaines peuvent être guéries, d'autres non. Les maladies devraient donc être prévenues dans la mesure du possible et, à défaut, soignées et guéries.

La déficience

Par déficience, on entend toute absence ou anomalie d'une structure ou fonction psychologique, physiologique ou anatomique.

Etre né avec trois doigts au lieu de cinq ne doit pas entraîner d'incapacité. Les capacités de l'individu et le degré de manipulation possible avec trois doigts détermineront si la personne est frappée ou non d'incapacité. Toutefois, si le cerveau, au niveau central, ne traite qu'une quantité moyenne de signaux, la déficience entraînera certainement une incapacité, car il n'est actuellement pas possible de «guérir» ou de régler ce problème chez le patient.

L'incapacité

L'incapacité décrit le niveau fonctionnel d'une personne qui a des difficultés à effectuer des tâches, par exemple à se lever de sa chaise. Ces difficultés sont évidemment liées à l'incapacité fonctionnelle, mais aussi aux circonstances environnantes. Une personne qui se déplace en chaise roulante et vit dans un pays plat comme les Pays-Bas est plus mobile qu'une autre vivant dans une région montagneuse comme le Tibet.

Le désavantage

Lorsque les problèmes entraînent un désavantage, on peut déterminer dans quel domaine ils se situent principalement (par exemple, immobilité ou dépendance physique). La possibilité d'effectuer certaines activités peut en être affectée; ainsi, la personne pourra ne pas être en mesure de se rendre à son travail, ou, sur le lieu de travail, avoir besoin d'assistance pour les soins d'hygiène personnelle, etc.

Un désavantage illustre les conséquences négatives de l'incapacité et ne peut être réduit qu'en les éliminant.

Résumé et conclusions

La CIH et les politiques qui en découlent offrent un cadre de travail international bien défini. Toute discussion sur un plan destiné à des groupes spécifiques devra partir de cette classification, afin de pouvoir définir nos activités et de la traduire dans la réalité.

pour le producteur, ni pour l'utilisateur, car il faut attendre le cycle de conception suivant (pour autant qu'il y en ait un) pour corriger les erreurs et apporter les modifications requises. De plus, les critiques de l'utilisateur sont rarement retenues dans un document révisé.

La conception ergonomique des systèmes

Il s'agit d'une version adaptée pour tenir compte des facteurs humains dans le processus de conception. La figure 29.48 illustre l'apport d'informations par l'utilisateur.

Dans ce type de conception, l'opérateur et l'utilisateur font partie intégrante du système: les spécifications de conception sont élaborées ou adaptées en tenant compte des capacités cognitives, physiques et mentales des travailleurs.

Ainsi, pour étudier les implications des capacités physiques des travailleurs, il conviendra de procéder à une évaluation précise des tâches et d'opérer une sélection minutieuse de celles qui devront être exécutées par l'opérateur et de celles qui seront confiées à une ou plusieurs machines. De toute évidence, l'opérateur est plus apte à interpréter des informations fragmentaires; en revanche, les machines calculent beaucoup plus rapidement lorsque les données qu'elles ont à traiter sont bien préparées. En outre, étant donné que l'interface utilisateur-machine peut être testée au stade du prototype, les erreurs de conception peuvent être éliminées sans attendre qu'elles soient mises en évidence au stade de la production ou de l'exploitation.

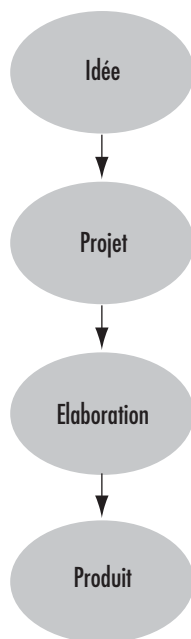
La méthodologie de la recherche visant les utilisateurs

Il n'existe pas de méthode optimale ou de directives éprouvées permettant d'entreprendre un projet de conception pour les travailleurs handicapés, par exemple. On peut, en revanche, étudier de manière exhaustive toutes les données existantes relatives au problème considéré et les exploiter au mieux.

Ces informations peuvent être obtenues à partir de sources telles que:

- *La documentation sur les résultats de recherche.*
- *L'observation directe (dans notre exemple, l'observation de la personne handicapée) en situation réelle de travail et l'inventaire des difficultés révélées.* Elle devrait se situer à un moment de la journée où l'on peut s'attendre à ce que le travailleur soit fatigué, par exemple à la fin du poste de travail. Toute solution retenue dans le projet devrait être basée sur la phase la plus ardue du travail, faute de quoi de telles phases ne pourront être accomplies d'une manière performante ou seront impossibles à exécuter, la capacité physique du travailleur étant dépassée.
- *Les entretiens.* Il faut savoir que tout entretien peut susciter des réponses subjectives; il est donc préférable de l'associer à l'observation. Les personnes handicapées hésitent parfois à parler de leurs difficultés, mais lorsqu'elles sentent que l'enquêteur s'intéresse à leur cas, leur réticence diminue. La technique prend du temps, mais elle en vaut la peine.

Figure 29.46 • Conception créatrice



- *Les questionnaires.* L'avantage du questionnaire est qu'il peut être distribué à des groupes relativement importants de probants et qu'il permet en même temps de rassembler des données aussi spécifiques qu'il est souhaitable. Un questionnaire doit toutefois être établi sur la base d'informations représentatives du groupe auquel il va être remis. Cela signifie que le type d'informations recherchées doit être obtenu sur la base d'entretiens et d'observations préalables portant sur un échantillon de travailleurs et de spécialistes de taille raisonnable. Dans le cas des personnes handicapées, il est judicieux d'inclure dans un tel échantillon des médecins et des thérapeutes impliqués dans la prescription d'aides spécifiques aux handicapés et qui ont évalué leurs capacités.
- *Les mesures physiques.* Les mesures obtenues à l'aide d'appareils relevant du domaine de la bio-instrumentation (comme le niveau d'activité musculaire ou la quantité d'oxygène consommée pour une tâche donnée) et de méthodes anthropométriques (telles que les mensurations des parties du corps, l'amplitude des mouvements, la force musculaire) ont une importance indéniable pour les projets de conception axés sur le travail humain.

Outre les méthodes décrites ci-dessus, qui permettent de compiler des données sur les individus, il en existe d'autres qui donnent la possibilité d'évaluer les systèmes utilisateur-machine. L'une d'entre elles — la *simulation* — consiste à mettre au point une copie physique réaliste. La mise au point d'une représentation symbolique plus ou moins abstraite d'un système est un exemple de *modélisation*. De telles méthodes sont bien sûr utiles et nécessaires lorsque le système ou le produit n'existent pas encore ou ne peuvent être utilisés pour une manipulation expérimentale. La simulation est employée le plus souvent dans un but de formation, la modélisation étant davantage réservée aux travaux de recherche. Une *maquette grandeur nature* et en trois dimensions du poste de travail, comprenant au besoin des équipements de fortune, est très utile pour tester les possibilités de conception dans le cas d'un travailleur invalide: en fait, la majorité des problèmes de conception peuvent être identifiés de cette manière. Un autre avantage de

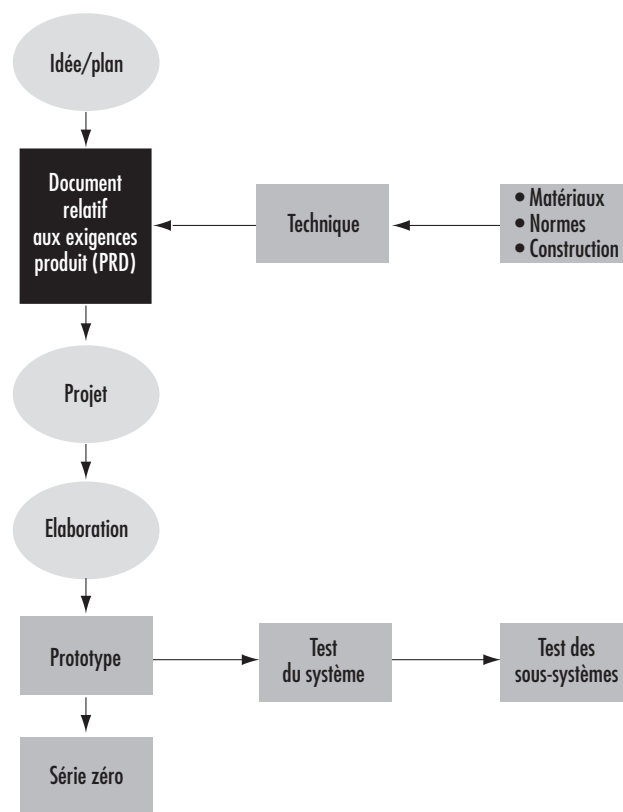
cette approche est que la motivation des travailleurs augmente lorsqu'ils sont appelés à participer à la conception de leur poste de travail.

L'analyse des tâches

Elle consiste dans l'observation analytique des différentes composantes de l'activité considérée. Ces éléments comprennent la posture de travail, les techniques de manipulation, les interactions avec les autres travailleurs, le maniement d'outils, la conduite de machines, l'ordre logique des sous-tâches, l'efficacité des opérations, le travail musculaire statique (un opérateur peut avoir à travailler dans la même posture pendant une durée prolongée ou à de fréquents intervalles), le travail musculaire dynamique (qui fait appel à diverses aptitudes physiques), l'ambiance de travail et les conditions autres que matérielles (milieu de travail stressant, mauvaise organisation du travail, etc.).

La conception d'un poste de travail pour une personne handicapée doit reposer sur une analyse approfondie des tâches, ainsi que sur un examen complet des capacités fonctionnelles de cette personne. L'approche de base est cruciale: il est préférable d'étudier toutes les solutions possibles sans parti pris plutôt que de se contenter d'une seule, voire d'un nombre limité d'options. Les spécialistes parlent «d'une vue d'ensemble morphologique». Etant donné la multiplicité des solutions envisageables, il est nécessaire d'effectuer une analyse des avantages et des inconvénients de chaque possibilité en tenant compte de l'utilisation prévue du matériel, des caractéristiques techniques de la production, de la plus ou moins grande complexité des gestes, etc. Il n'est pas rare que plus d'une solution technique atteigne le stade du prototype et que la décision finale intervienne relativement tardivement.

Figure 29.47 • Conception d'un système



Cette manière de procéder exige plus de temps, mais l'effort supplémentaire qu'elle demande est compensé par la disparition ou, en tout cas, la diminution des problèmes rencontrés dans la phase de développement. Le résultat obtenu — qu'il s'agisse d'un nouveau poste de travail ou d'un nouveau produit — représentera un meilleur équilibre entre les besoins du travailleur handicapé et les exigences de la production. Malheureusement, il est rare que le concepteur soit mis au courant du succès ou de l'échec de l'exercice.

Le document stipulant les exigences du produit dans le cas de travailleurs handicapés

Une fois que toutes les informations relatives à un produit ont été rassemblées, elles devraient être converties en une description qui ne se limite pas au seul produit mais qui englobe toutes les exigences relatives à celui-ci, quelles qu'en soient les sources. Ces exigences peuvent être divisées selon différents axes. Le document qui les énumère devrait inclure les demandes relatives aux données utilisateur-opérateur (mensurations corporelles, amplitude des mouvements, force musculaire, etc.), les données techniques pertinentes (matériaux, construction, technique de production, normes de sécurité, etc.), ainsi que les conclusions tirées des études de marché effectuées.

Le document en question servira de cadre de travail au concepteur, même si certains concepteurs le considèrent plus comme une restriction malvenue à leur créativité que comme un stimulant bénéfique. Compte tenu des difficultés qui peuvent se présenter au moment de l'établissement de ce document, il faut toujours garder à l'esprit qu'un échec dans la conception ou l'aménagement d'un poste de travail peut être décourageant pour la personne handicapée (elle renoncera à faire des efforts pour trouver un emploi ou se sentira une victime impuissante de sa condition) et se rappeler qu'un nouvel exercice de conception entraînera des coûts supplémentaires. Pour éviter ces écueils, le concepteur tech-

Figure 29.48 • Conception ergonomique d'un système

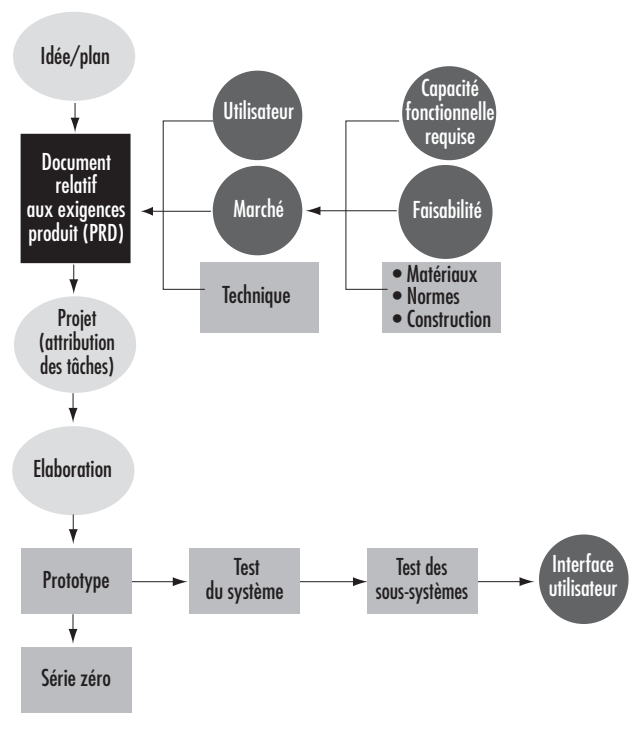
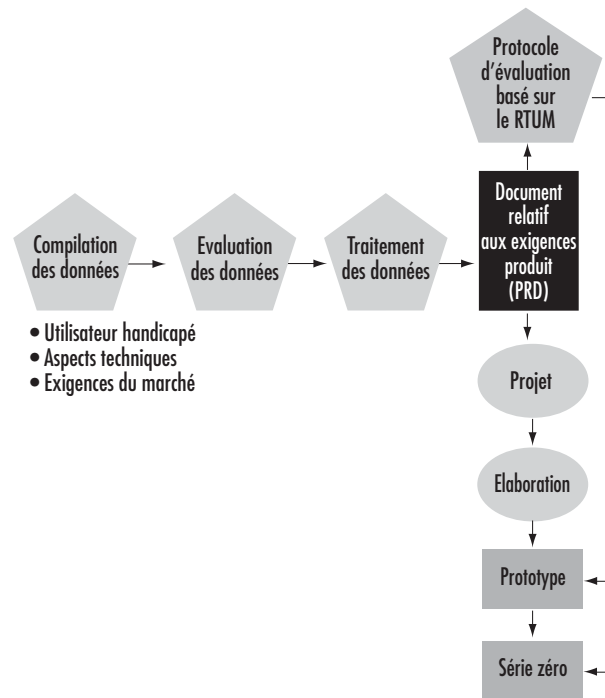


Figure 29.49 • Emploi conjoint du modèle RTUM (Rehabilitation Technology Useability Model) et de la conception ergonomique des systèmes



nique ne devrait pas travailler seul mais devrait, au contraire, coopérer avec d'autres spécialistes en vue de recueillir toutes informations utiles sur les capacités fonctionnelles de l'opérateur considéré et de parvenir à mettre au point un document intégré constituant un cadre de travail satisfaisant.

Les tests de prototypes

Lorsqu'un prototype a été mis au point, il faut le tester pour en déceler les éventuels défauts. Cette recherche devrait porter non seulement sur le système technique et ses sous-systèmes, mais également sur les éléments qui déterminent son utilité pour l'utilisateur. Si celui-ci est une personne handicapée, des précautions particulières s'imposent. Une situation à laquelle un travailleur valide peut faire face en toute sécurité pourra poser problème pour un travailleur handicapé.

Les tests de prototypes devraient être effectués sur un petit nombre de travailleurs handicapés (sauf s'il s'agit d'un cas unique) selon un protocole correspondant au document définissant les exigences posées. Ce n'est qu'après de tels essais empiriques que l'on pourra juger de la concordance entre ces exigences et le produit conçu. Même si les résultats fournis par de petits groupes de sujets ne peuvent être généralisés, ils fournissent cependant des informations précieuses pour le concepteur, que ce soit en vue de la conception définitive ou pour de futurs exercices de conception.

L'évaluation

L'évaluation d'un système technique (une situation de travail, une machine, un outil, etc.) peut être faite en se basant sur le document spécifiant les exigences, sans prendre l'avis de l'utilisateur ou même sans tenter d'effectuer des comparaisons avec des conceptions alternatives tenant compte de la performance physique. Ainsi, le créateur d'une attelle pour le genou — dont la conception

repose sur des recherches montrant qu'une instabilité au niveau des articulations du genou provoque un retard dans la contraction des muscles ischio-jambiers — créera un produit permettant de compenser ce retard. Mais une autre attelle pourra répondre à un objectif différent. Or, les méthodes d'évaluation actuelles ne permettent pas de dire quel type d'attelle pour le genou il faut recommander à tel patient et dans quelles conditions, alors que c'est précisément le type d'information dont les spécialistes ont besoin lorsqu'il s'agit de prescrire des aides techniques (orthèses) pour compenser un handicap.

La recherche actuelle se propose de surmonter cette difficulté. Le «Rehabilitation Technology Useability Model» (RTUM) est un modèle dont on se sert pour obtenir des informations sur les facteurs qui permettent de déterminer si une aide technique doit ou non être employée et si un poste de travail est bien conçu et aménagé pour l'emploi de travailleurs handicapés. Ce modèle offre un cadre pour l'évaluation des produits, des outils et des machines déjà sur le marché; il peut également être utilisé en association avec le processus de conception ergonomique, comme le montre la figure 29.48.

L'évaluation des produits existants fait ressortir dans bien des cas la mauvaise qualité du document initial spécifiant leurs exigences. Parfois, les exigences du produit sont mal définies; dans d'autres cas, elles sont incomplètes. Les concepteurs devraient tout simplement apprendre à documenter les exigences auxquelles doivent satisfaire leurs produits, y compris celles intéressant des utilisateurs handicapés. Il convient de noter, comme le montre la figure 29.49, que le modèle RTUM, en association avec les méthodes de conception ergonomique des systèmes, offre un cadre qui inclut les exigences des handicapés. Les services chargés de prescrire des produits ou des aides devraient demander à l'industrie d'évaluer ces produits avant de les commercialiser, une tâche impossible en l'absence de spécifications précisant les exigences auxquelles ils devraient satisfaire. La figure 29.49 montre également comment on peut s'assurer que le résultat final sera évalué comme il devrait l'être avec l'aide de la personne handicapée ou du groupe de personnes auxquelles le produit considéré est destiné. Il appartient aux services nationaux de santé de formuler des réglementations appropriées et d'inciter les concepteurs à les respecter.

● LES DIFFÉRENCES CULTURELLES

Houshang Shahnavaz

Culture et technologie sont interdépendantes. Si les facteurs culturels sont assurément un élément important de la conception, de la mise au point et de l'exploitation de la technologie, le rapport entre culture et technologie est cependant extrêmement complexe. Pour être pris en compte de manière satisfaisante dans la conception et l'application de la technologie, ce rapport doit être étudié sous plusieurs angles. A partir de ses travaux réalisés en Zambie, Kingsley (1983) classe l'adaptation technologique en changements et ajustements à trois niveaux: celui de l'individu, celui de l'organisation sociale et celui du système de valeurs culturelles de la société. Chacun de ces niveaux possède une forte dimension culturelle qui impose des préoccupations particulières en matière de conception.

La technologie, par ailleurs, est un élément indissociable de la culture. Elle est élaborée, totalement ou partiellement, autour des valeurs culturelles d'une société donnée; dans la mesure où elle est un élément de la culture, la technologie devient une expression du mode de vie et de la pensée de cette société. Par conséquent, pour être acceptée, utilisée et reconnue comme sienne par une société,

elle doit être conforme à l'image globale de la culture de cette société. La technologie doit compléter la culture, et non pas la contrarier.

Le présent article aborde quelques-uns des aspects complexes des rapports entre la culture et la technologie, en faisant le bilan des questions et problèmes actuels, en rappelant les notions et les principes dominants et en examinant la façon dont on peut les appliquer.

La définition de la culture

Depuis des décennies, la définition du mot *culture* fait l'objet d'un vaste débat entre sociologues et anthropologues. Et, de fait, la culture peut être définie de bien des façons. Kroeber et Kluckholm (1952) se sont penchés sur plus d'une centaine de définitions de la culture. Pour Williams (1976), le terme *culture* est l'un des plus compliqués de la langue anglaise. On l'a même définie comme l'ensemble du mode de vie des gens. A ce titre, la culture englobe leur technologie et les objets de la vie courante — tout ce que l'on aurait besoin de connaître pour devenir un membre opérationnel de la société (Geertz, 1973). Elle peut même être décrite comme «des formes symboliques répandues dans le domaine public, par lesquelles les gens éprouvent et expriment du signifié» (Keesing, 1974). Résumant le tout, Elzinga et Jamison (1981) ont tranché la question avec justesse en affirmant que «le terme culture a des sens différents dans des disciplines intellectuelles et des systèmes de pensée différents».

La technologie: élément et produit de la culture

La technologie peut être considérée à la fois comme un élément de la culture et comme son produit. Il y a plus de 60 ans, l'éminent sociologue Malinowsky a fait de la technologie un élément de la culture et en a donné la définition suivante: «La culture comprend les artefacts, les biens, les procédés techniques, les idées, les habitudes et les valeurs hérités». Plus tard, Leach (1965) a considéré la technologie comme un produit culturel et a décrit «des objets fabriqués, les biens et les procédés techniques» comme «des produits de la culture».

Dans le domaine technologique, de nombreux fournisseurs et destinataires de technologie ont trop souvent négligé la culture en tant qu'élément important de la conception, de la mise au point et de l'utilisation de produits ou de systèmes techniques. L'une des principales raisons de cette négligence tient à l'absence de connaissances élémentaires sur les différences culturelles.

Dans le passé, l'évolution technologique a induit d'importants changements dans la vie et l'organisation sociale des peuples, ainsi que dans leurs systèmes de valeurs. L'industrialisation a profondément et durablement transformé les modes de vie traditionnels de sociétés autrefois rurales, car ces modes de vie étaient généralement réputés incompatibles avec la façon dont le travail industriel devait être organisé. Dans les cas de grande diversité culturelle, cela s'est traduit par des impasses socio-économiques (Shahnavaz, 1991). On reconnaît maintenant que le fait de se contenter d'imposer une technologie à une société en s'imaginant qu'elle sera absorbée et utilisée grâce à une formation même approfondie est parfaitement illusoire (Martin et coll., 1991). C'est au concepteur de la technologie qu'il incombe de tenir compte des effets directs et indirects de la culture et de rendre le produit compatible avec le système de valeurs culturelles de l'utilisateur et avec le milieu où il est envisagé de l'utiliser.

Pour de nombreux pays en voie d'industrialisation, l'incidence de la technologie va très au-delà de l'amélioration du rendement. L'industrialisation n'a pas été une simple modernisation des secteurs de la production et des services: elle a, dans une certaine mesure, entraîné une occidentalisation de la société. On peut dire dès lors que tout transfert de technologie entraîne aussi un transfert de culture.

Outre la religion, la tradition et la langue — qui sont d'importants paramètres dans la conception et l'utilisation de la technologie — la culture englobe d'autres aspects, comme les attitudes particulières envers certains produits ou certains travaux, les règles de bon comportement, les convenances, les tabous, les us et coutumes, etc. Tous ces aspects doivent être pris en compte en vue d'une conception optimale.

On dit que les gens sont aussi les produits de leur culture. Il n'en demeure pas moins que les cultures sont fortement entremêlées du fait des migrations humaines tout au long de l'histoire. Il n'y a rien d'étonnant à ce qu'il existe plus de diversités culturelles que de nations dans le monde actuel. On peut cependant établir quelques grandes distinctions en matière de différences sociétales, organisationnelles et professionnelles dont les fondements culturels sont susceptibles d'influer sur la conception des produits en général.

Les influences contraignantes de la culture

Il existe fort peu d'informations sur l'analyse théorique et empirique des influences contraignantes de la culture sur la technologie et sur la façon dont cette question devrait être intégrée dans la conception de la technologie matérielle et logicielle. Bien que l'influence de la culture sur la technologie ait été largement reconnue (Shahnavaz, 1991; Abeysekera, Shahnavaz et Chapman, 1990; Alvares, 1980; Baranson, 1969), on ne dispose que de très peu d'informations sur l'analyse théorique des différences culturelles par rapport à la conception et à l'utilisation de la technologie. Quant aux études empiriques qui tentent de chiffrer l'importance des variations culturelles et formulent des recommandations sur la façon dont les facteurs culturels devraient être pris en compte dans la conception d'un produit ou d'un système (Kedia et Bhagat, 1988), elles sont encore plus rares. Toutefois, les rapports de la culture et de la technologie peuvent tout de même être étudiés avec une certaine clarté si on les considère de différents points de vue sociologiques.

La culture et la technologie: compatibilité et préférences

L'application convenable d'une technologie dépend, dans une large mesure, de la compatibilité de la culture de ses utilisateurs avec les caractéristiques de sa conception. Cette compatibilité doit exister à tous les niveaux de la culture — sociétal, organisationnel et professionnel. La compatibilité culturelle peut fortement influencer sur les préférences des gens et leur propension à utiliser une technologie donnée. Cela touche aux préférences concernant un produit ou un système, à des concepts de productivité et de rendement relatif, de changement, de performance et d'autorité, ainsi qu'au mode d'utilisation de la technologie. Aussi, les valeurs culturelles peuvent affecter la volonté et la capacité des gens de choisir, d'utiliser et de maîtriser une technologie. Pour être préférée à une autre, une technologie doit être compatible avec la culture locale.

La culture sociétale

Toutes les technologies étant inévitablement associées à des valeurs socioculturelles, la réceptivité culturelle de la société est un facteur très important pour le bon fonctionnement d'une technologie de conception donnée (Hosni, 1988). La culture nationale ou sociétale, qui contribue à la création d'un modèle mental collectif, influe sur l'ensemble du processus de conception et d'application technologique qui va de la planification, de la fixation des objectifs et de la définition des spécifications à la formation et à l'évaluation, en passant par les processus de fabrication et les systèmes de gestion et de maintenance. Par conséquent, la conception technologique des produits matériels et logiciels devrait donc, pour que l'on puisse en escompter un bénéfice maximal, refléter les variations culturelles à fondement sociétal. Or, la défini-

tion de ces facteurs culturels à fondement sociétal en vue de leur intégration dans la conception d'une technologie est une tâche fort complexe. Hofstede (1980) propose quatre variations dimensionnelles types de la culture à fondement national:

1. *Tendance forte ou faible à évacuer les incertitudes.* Cette caractéristique vise le désir plus ou moins marqué d'éviter les situations ambiguës et la mesure dans laquelle la société considérée a élaboré des moyens formels (règles, etc.) en vue de parvenir à cette fin. À titre d'exemple, Hofstede (1980) a attribué dans ce domaine un score élevé à des pays comme le Japon et la Grèce, et un score faible à Hong-kong et à la Scandinavie.
2. *Individualisme contre collectivisme.* Il s'agit ici du rapport entre les individus et les organisations au sein de la société. Dans les sociétés individualistes, il est de règle que chacun se préoccupe avant tout de ses intérêts personnels. Dans une culture collectiviste, en revanche, les liens sociaux entre les gens sont très forts. Parmi les pays individualistes, on peut citer les États-Unis et la Grande-Bretagne, tandis que la Colombie et le Venezuela peuvent être considérés comme ayant une culture collectiviste.
3. *Distance à l'égard du pouvoir.* Les cultures caractérisées par un grand éloignement du pouvoir sont aussi celles où les individus qui en ont le moins acceptent qu'il soit réparti de manière inégale et où les structures de la société et des organisations qui la constituent sont très hiérarchisées. L'Inde et les Philippines sont des exemples de pays à grand éloignement du pouvoir, tandis que la Suède et l'Autriche sont typiques d'un faible éloignement du pouvoir.
4. *Masculinité contre féminité.* On considère que les cultures qui insistent davantage sur les réalisations matérielles appartiennent à la première catégorie, tandis que celles qui attachent plus d'importance à la qualité de la vie et à d'autres éléments moins tangibles appartiennent à la deuxième.

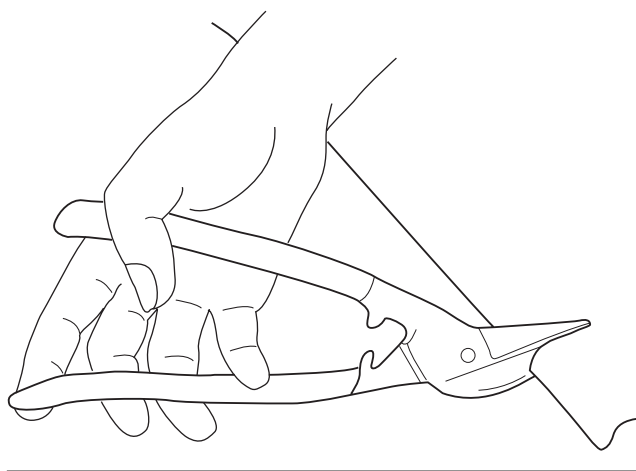
Glenn et Glenn (1981) ont établi une distinction additionnelle entre tendances «abstractives» et tendances «associatives» au sein d'une culture nationale donnée. Ils affirment que lorsque les peuples qui appartiennent à une culture associative (comme ceux d'Asie) abordent un problème cognitif, ils s'attachent davantage au contexte, adoptent une démarche de réflexion globale et cherchent à tirer parti de l'association entre divers événements, tandis que, dans les sociétés occidentales, c'est une culture plus abstractive de réflexion rationnelle qui prédomine. À partir de ces dimensions culturelles, Kedia et Bhagat (1988) ont élaboré un modèle conceptuel permettant d'appréhender les contraintes culturelles qui pèsent sur les transferts de technologie. Ils ont élaboré différentes propositions descriptives qui fournissent des informations sur les variations culturelles de différents pays et leur réceptivité à l'égard de la technologie. Bien entendu, de nombreuses cultures n'appartiennent ni à l'une ni à l'autre de ces catégories tranchées mais présentent plutôt un mélange de ces différents modèles.

La perspective que producteurs et consommateurs ont de la conception et de l'utilisation de la technologie est directement influencée par la culture de leur société. Ainsi, les normes de sécurité des produits visant à la protection du consommateur, de même que la réglementation relative à l'environnement de travail et à son contrôle sont, dans une large mesure, le reflet de la culture et du système de valeurs de la société.

La culture organisationnelle

L'organisation d'une entreprise, sa structure, son système de valeurs, son rôle et son comportement sont, dans une large mesure, des produits culturels de la société au sein de laquelle elle fonctionne. Autrement dit, ce qui se passe dans une entreprise ou une organisation est généralement le reflet direct de ce qui se passe dans la société qui l'entoure (Hofstede, 1983). La structure prédo-

Figure 29.50 • Utilisation de la cisaille à tôles par des ferblantiers de métier (l'outil est tenu à l'envers)



minante de nombreuses entreprises des pays en cours d'industrialisation est influencée par les caractéristiques du pays d'origine de la technologie, ainsi que par celles du milieu qui met en œuvre cette technologie. En revanche, le reflet de la culture sociétale dans une entreprise est variable: les entreprises interprètent la société en fonction de leur propre culture, et leur degré de maîtrise dépend, entre autres choses, du mode de transfert de la technologie.

Compte tenu de la nature évolutive de l'entreprise d'aujourd'hui et de la présence en son sein d'un personnel pluriculturel et varié, la mise en place d'un programme de gestion structurelle adapté est plus importante que jamais pour assurer sa prospérité (on trouvera un exemple de programme de gestion de personnel diversifié dans Solomon, 1989).

La culture professionnelle

Les gens appartenant à une certaine catégorie professionnelle utilisent souvent un élément de technologie d'une manière qui leur est propre. Dans un projet concernant la mise au point d'outils manuels, Wikström et ses collaborateurs (1991) ont constaté que, en dépit de l'hypothèse du concepteur sur la manière de tenir et d'utiliser une cisaille à tôles (préhension vers l'avant, l'outil s'éloignant du corps de l'opérateur), les ferblantiers de métier tenaient et utilisaient la cisaille en sens contraire, comme on peut le voir sur la figure 29.50. Ils en concluent que pour obtenir des indications valables sur les caractéristiques des outils, il fallait les étudier dans les conditions réelles d'emploi.

La prise en considération des caractéristiques culturelles pour une conception optimale

Comme le laissent entendre les remarques qui précèdent, la culture apporte identité et confiance. Elle permet de se forger une opinion sur les objectifs et les caractéristiques d'un «système homme-technologie» et sur la façon dont celui-ci devrait fonctionner dans un environnement donné. De plus, toute culture présente toujours certaines caractéristiques qui sont précieuses pour le progrès technologique. Si ces caractéristiques sont prises en compte dans la conception des produits matériels et logiciels, elles peuvent dynamiser l'assimilation de la technologie par la société. On en trouve un excellent exemple dans la culture de certains pays d'Asie du Sud-Est, fortement influencés par le confucianisme et le bouddhisme. Le premier insiste, entre autres, sur l'apprentis-

sage et la fidélité et considère comme une vertu l'aptitude à assimiler des concepts nouveaux, tandis que le second enseigne l'importance de l'harmonie et du respect d'autrui. On dit que ce sont ces caractéristiques culturelles originales qui ont favorisé la création d'un environnement favorable pour l'assimilation et l'application des techniques de pointe par les Japonais (Matthews, 1982).

On voit dès lors qu'en encourageant l'application des principes de l'ergonomie, une stratégie intelligente fait le meilleur usage des caractéristiques positives de la culture d'une société. D'après McWhinney (1990), «pour être compris et projetés de manière efficace, les événements doivent être intégrés dans des récits. Il faut aller à diverses profondeurs pour libérer l'énergie créatrice, pour libérer la société ou l'organisation de leurs inhibitions, pour trouver les voies le long desquelles elles pourraient évoluer naturellement. La planification et le changement resteront inopérants si on ne les intègre pas consciemment dans un récit».

L'application, au Japon, de la technique des «sept outils» de contrôle de la qualité constitue un excellent exemple de valorisation culturelle dans la conception d'une stratégie de gestion. Les «sept outils» sont la panoplie minimale d'armes qu'un samouraï devait emporter chaque fois qu'il allait au combat. En adaptant leurs recommandations (qui étaient au nombre de neuf) à un environnement japonais, les pionniers des «cercles de contrôle de qualité» ont ramené ce chiffre à sept pour tirer parti d'une expression bien connue — les «sept outils» — et encourager ainsi la participation des salariés à leur stratégie (Lillrank et Kano, 1989).

Il existe cependant des caractéristiques culturelles qui peuvent ne pas être bénéfiques à l'évolution technologique. Ainsi, la discrimination envers les femmes, le respect rigoureux d'un système de castes, les préjugés raciaux ou autres, ou le simple fait de considérer certaines tâches comme dégradantes, ne sont que quelques exemples de facteurs susceptibles d'avoir une influence négative dans le domaine considéré. Dans certaines cultures traditionnelles, ce sont les hommes qui doivent, au premier chef, faire vivre leur famille. Il s'ensuit qu'ils regardent d'un œil indifférent, voire hostile, le fait que les femmes puissent être des collègues ou, pis encore, des contremaîtres ou des chefs. Or, le fait de refuser aux femmes l'égalité des chances en matière d'emploi et de mettre en doute la légitimité de leur autorité n'est pas en adéquation avec les besoins actuels des entreprises, à savoir une utilisation optimale des ressources humaines.

En ce qui concerne la conception des tâches et le profil des postes, certaines cultures considèrent que le travail manuel et celui du personnel domestique sont dégradants. On peut attribuer cette attitude à un vécu antérieur lié à l'époque coloniale, marquée par la relation maître-esclave. Dans d'autres cultures, il existe de forts préjugés contre les tâches ou les métiers associés aux «mains sales». Ces attitudes se reflètent dans des salaires inférieurs à la moyenne pour ce type de travaux, ce qui a contribué à une pénurie de techniciens ou à une insuffisance de personnel d'entretien (Sinaiko, 1975).

Il faut en général plusieurs générations pour modifier la valeur culturelle attachée à une technologie nouvelle; il serait plus rationnel et plus économique d'adapter la technologie à la culture de ses usagers.

Les considérations culturelles dans la conception des produits et des systèmes

Il est admis que la technologie se compose d'éléments matériels et d'éléments logiciels ou immatériels. Les éléments matériels se divisent en biens d'équipement et biens intermédiaires, tels que les produits industriels, machines, installations, bâtiments, postes de travail, etc., dont la plupart concernent essentiellement le domaine de la microergonomie. Les éléments logiciels concernent la programmation et la planification, les techniques de gestion et

d'organisation, la maintenance, la formation et l'éducation, la documentation et les services, c'est-à-dire des éléments qui relèvent de la macroergonomie.

On trouvera ci-après quelques exemples de facteurs culturels qui devraient être particulièrement pris en compte au stade de la conception, tant au point de vue microergonomique que macroergonomique.

Les questions microergonomiques

La microergonomie porte sur la conception d'un produit ou d'un système dans le but de créer une interface homme-machine-environnement «utilisable», c'est-à-dire adéquate. L'adéquation est ici la considération primordiale. Cette notion recouvre non seulement la fonctionnalité et la fiabilité du produit, mais aussi les aspects de sécurité, de confort et d'appréciation par l'utilisateur.

Le modèle interne de l'utilisateur (son modèle cognitif ou mental) joue un rôle important dans la conception de l'adéquation. Pour faire fonctionner ou commander un système en toute efficacité et sécurité, l'utilisateur doit avoir un modèle cognitif représentatif précis du système utilisé. Wisner (1983) a relevé que l'industrialisation exigerait un modèle mental d'un genre nouveau. A cet égard, l'éducation scolaire et la formation technique, l'expérience et la culture sont d'importants éléments dans la définition d'un modèle cognitif approprié.

En étudiant les facteurs microergonomiques et macroergonomiques de l'accident survenu en 1984 dans l'usine Union Carbide de Bhopal, Meshkati (1989) a souligné l'importance de la culture dans le modèle mental insuffisant que les opérateurs indiens avaient du fonctionnement de l'usine. A son avis, l'accident pourrait avoir été causé en partie par le fait que des opérateurs du tiers monde insuffisamment formés utilisaient des systèmes technologiques sophistiqués conçus par d'autres personnes possédant une éducation, une formation et des caractéristiques culturelles et psychosociales extrêmement différentes. De fait, bien des aspects de l'adéquation d'une conception au niveau de la microinterface sont influencés par la culture de l'utilisateur. Une étude attentive de la perception, du comportement et des préférences des usagers permettrait de mieux comprendre leurs besoins et leurs exigences et, partant, de concevoir un produit ou un système qui soit à la fois efficace et acceptable.

Parmi ces aspects microergonomiques liés à la culture, on trouve :

1. *Conception d'interface.* L'émotion humaine est un élément essentiel de la conception d'un produit. Elle intervient dans des facteurs comme la couleur et la forme (Kwon, Lee et Ahn, 1993; Nagamachi, 1992). Dans la conception d'un produit, on considère que la couleur est la caractéristique de l'objet qui fait le plus appel à l'émotion. Le choix des couleurs doit s'adapter aux dispositions psychologiques et sentimentales des utilisateurs, dispositions qui diffèrent d'un pays à l'autre. Le symbolisme des couleurs peut, lui aussi, différer. Ainsi, la couleur rouge qui est signe de danger en Occident est un signe de bon augure en Inde (Sen, 1984), tandis qu'en Chine elle symbolise la joie et le bonheur. Les pictogrammes et symboles utilisés dans de très nombreuses applications sur la voie ou dans les lieux publics sont fortement liés à la culture. Ainsi, les pictogrammes occidentaux sont difficiles à interpréter pour des non-Occidentaux (Daftuar, 1975; Fuglesang, 1982).
2. *Compatibilité entre commande et affichage.* La compatibilité indique à quel point les mouvements spatiaux de commande, l'agencement des affichages ou les rapports conceptuels répondent aux attentes de l'humain (Staramler, 1993). Elle se réfère à ce que l'utilisateur attend du rapport stimulus-réaction, ce qui est une question ergonomique fondamentale pour le fonction-

nement sûr et efficace d'un produit ou d'un système. Un système compatible est un système qui tient compte du comportement sensoriel et moteur ordinaire des gens (stéréotype de population). Toutefois, à l'instar d'autres comportements humains, le comportement perceptuo-moteur peut, lui aussi, être influencé par la culture. Hsu et Peng (1993) ont comparé des sujets américains et chinois sur le plan du rapport commandes/feux dans une cuisinière à quatre feux. Ils ont observé des schémas de stéréotypes de population différents et sont arrivés à la conclusion que les stéréotypes de population concernant le rapport commandes/feux étaient culturellement différents, en raison sans doute d'habitudes différentes de lecture ou d'exploration visuelle rapide.

3. *Conception du poste de travail.* La conception rationnelle d'un poste de travail vise à supprimer les mauvaises postures et à améliorer la performance de l'utilisateur en tenant compte de ses besoins biologiques, de ses préférences et des impératifs de la tâche à accomplir. Il se peut que des individus de cultures différentes préfèrent adopter des postures assises ou choisissent des hauteurs de travail différentes. Dans les pays occidentaux, pour assurer le maximum de confort et d'efficacité, la hauteur de travail est proche de la hauteur du coude du sujet assis. En revanche, dans de nombreuses régions du globe, les gens sont assis en tailleur. Les ouvriers indiens, en particulier, préfèrent cette posture, plutôt que de travailler debout ou assis sur un siège. On a observé que, même si on leur fournit des chaises, ils préfèrent toujours s'accroupir. Daftuar (1975) et Sen (1984) ont étudié le pour et le contre de cette posture des Indiens, ainsi que ses implications. Après avoir décrit les différents avantages qu'il y a à être assis par terre, Sen fait observer qu'étant donné qu'une forte population du marché mondial correspond à des sociétés où la position accroupie ou assise au sol prédomine, il est regrettable qu'aucune machine moderne n'ait, jusqu'ici, été conçue pour être utilisée de cette façon. L'amélioration de l'efficacité et du confort de l'opérateur devrait conduire à tenir compte des préférences manifestées en matière de posture.
4. *Conception des équipements de protection.* Le port de vêtements de protection impose des contraintes, tant psychologiques que physiques. Ainsi, dans certaines cultures, les emplois imposant le port de vêtements de protection sont parfois considérés comme étant un travail de niveau inférieur et convenant uniquement à des manœuvres. Ainsi, les ingénieurs ne portent pas de vêtements de protection. En ce qui concerne les contraintes physiques, les membres de certains groupes religieux que leur foi oblige à porter un couvre-chef (comme le turban des Sikhs en Inde ou le voile des femmes musulmanes) ont du mal à se servir d'un casque de protection. Pour protéger les travailleurs contre les risques de leur métier, il faut donc créer des modèles spéciaux de vêtements de protection tenant compte de ces diversités culturelles.

Les questions macroergonomiques

Le terme macroergonomie s'applique à la conception de la technologie immatérielle (logiciels, systèmes de gestion, etc.). De nombreuses méthodes de gestion et d'organisation mises au point dans des pays industriels et qui se sont révélées efficaces ne peuvent être appliquées avec succès dans les pays en développement, à cause de différences de culture, de conditions sociopolitiques et de niveaux d'éducation (Negandhi, 1975). Dans la plupart de ces pays, on trouve généralement, au sein des entreprises, une hiérarchie caractérisée par une structure d'autorité verticale qui ne se soucie guère de valeurs comme la démocratie ou le partage du pouvoir dans le processus décisionnel; or, ces valeurs sont considérées comme des éléments clés de la gestion moderne, car indispensa-

bles à la bonne utilisation des ressources humaines en termes d'intelligence, de créativité, d'aptitude à résoudre les problèmes et d'ingéniosité.

Dans les pays en développement, le régime féodal de hiérarchie sociale et son système de valeurs sont également monnaie courante sur la plupart des lieux de travail industriels, ce qui fait de la démarche de gestion participative (indispensable au nouveau mode de production caractérisé par la spécialisation flexible et la motivation du personnel) une véritable gageure. Il existe cependant des rapports confirmant que l'instauration de systèmes de travail autonomes est souhaitable même dans ces cultures-là (Ketchum, 1984).

1. *Ergonomie participative.* L'ergonomie participative est une méthode macroergonomique fort utile pour résoudre différents problèmes liés au travail (Shahnavaz, Abeysekera et Johansson, 1993; Noro et Imada, 1991; Wilson, 1991). Utilisée avant tout dans les pays industriels, cette méthode est appliquée sous des formes différentes selon la culture de l'entreprise. Dans une étude, Liker, Nagamachi et Lifshitz (1988) ont comparé les programmes d'ergonomie participative de deux usines américaines et de deux usines japonaises dont l'objectif était de diminuer le stress physique subi par les travailleurs. Ils sont parvenus à la conclusion qu'un programme d'ergonomie participative efficace peut revêtir bien des formes. Le meilleur programme pour une entreprise, quelle que soit la culture environnante, dépend de son histoire, de sa structure et de sa culture propre.
2. *Systèmes de logiciels.* Lors de la conception d'un nouveau système informatique ou de l'introduction de changements dans une entreprise, il convient de tenir compte des différences sociétales et organisationnelles liées à la culture. En ce qui concerne l'informatique, De Lisi (1990) relève que les possibilités offertes par les réseaux ne pourront être pleinement exploitées que si ces réseaux sont compatibles avec la culture d'entreprise.
3. *Organisation du travail et gestion.* Dans certaines cultures, la famille est une institution tellement importante qu'elle joue un rôle de premier plan dans l'organisation du travail. Ainsi, dans certaines communautés de l'Inde, un travail est généralement considéré comme une responsabilité familiale et il est exécuté collectivement par tous les membres de la famille (Chapanis, 1975).
4. *Systèmes de maintenance.* La conception des programmes de maintenance (préventive et régulière) est un autre domaine dans lequel il est souhaitable que l'organisation du travail soit adaptée aux données culturelles. Dans le type de sociétés rurales qui prévaut dans de nombreux pays en cours d'industrialisation, la culture traditionnelle est généralement incompatible avec les exigences et le mode d'organisation du travail industriel. Ainsi, les activités agricoles traditionnelles n'impliquent aucun programme de maintenance rigoureux. Elles ne sont pas non plus, dans leur majeure partie, exécutées sous la pression du temps. On laisse généralement au processus de recyclage de la nature le soin de s'occuper des travaux d'entretien. La conception des programmes de maintenance et des manuels d'entretien pour l'industrie devrait tenir compte de ces contraintes culturelles et prévoir une formation et un suivi suffisants.

Dans une étude de cas portant sur l'implantation réussie d'une usine moderne de fabrication de câbles téléphoniques en Chine fournie par une société américaine (Essex), Zhang et Tyler (1990) notent que les deux parties se sont rendu compte que l'application directe de méthodes de gestion américaines ou propres à Essex n'était pas toujours réalisable ni souhaitable à cause de différences culturelles, philosophiques et politiques. De ce fait, les informa-

tions et les instructions données par Essex ont souvent été modifiées par le partenaire chinois afin de les rendre compatibles avec les conditions régnant en Chine. Ils relèvent aussi que la clé de la réussite de l'entreprise, en dépit des différences culturelles, économiques et politiques, réside dans la volonté des deux parties de réaliser un objectif commun, ainsi que dans le respect, la confiance et la sympathie mutuels qui ont transcendé toutes les différences pouvant les séparer.

Le planning du travail et le travail posté sont un autre exemple en matière d'organisation du travail. Dans la plupart des pays en voie d'industrialisation, il existe des problèmes socioculturels associés au travail posté (mauvaises conditions de vie et de logement, absence de services d'assistance, environnement bruyant des logements, etc.) qui imposent de concevoir des programmes spéciaux pour ce type de travail. Par ailleurs, pour les travailleuses, la journée de travail compte généralement beaucoup plus de huit heures, puisqu'elle comprend non seulement le temps consacré effectivement à l'employeur, mais aussi le temps pris par le trajet, les travaux domestiques et les soins aux enfants et aux parents âgés. Suivant la culture locale, l'horaire de travail devrait être aménagé en conséquence.

La flexibilité des horaires de travail pour tenir compte de particularités culturelles, telles que la sieste des ouvriers chinois après le déjeuner et les pratiques religieuses des musulmans, constitue un autre aspect culturel de l'organisation du travail. Dans la culture islamique, les gens doivent s'arrêter de travailler plusieurs fois par jour pour prier; un mois par an, ils doivent en outre jeûner du lever au coucher du soleil. Toutes ces contraintes culturelles doivent être prises en compte.

La culture influe donc, on le voit, sur un grand nombre de caractéristiques macroergonomiques.

Conclusion: les différences culturelles dans la conception

On peut affirmer que la conception d'un produit ou d'un système pleinement satisfaisante n'est pas une tâche aisée. Il n'existe pas de critère absolu de qualité. C'est au concepteur qu'il incombe de réaliser une interaction optimale et harmonieuse entre les quatre composantes élémentaires du système opérateur-technologie, à savoir l'utilisateur, la tâche, le système technologique et le milieu de travail. Un système peut être parfaitement adapté à un ensemble d'utilisateurs, de tâches et de conditions ambiantes, mais totalement inadapté à un autre ensemble.

Même si un ingénieur compétent et consciencieux conçoit une interface opérateur-machine bien adaptée à une situation donnée, il ne sera pas nécessairement capable de prévoir les effets sur l'adéquation du produit d'une culture autre que la sienne. Il est difficile d'éviter d'éventuels effets culturels négatifs lorsqu'un produit est utilisé dans un environnement différent de celui pour lequel il a été conçu. Et comme il n'existe pratiquement pas de données quantitatives en matière de contraintes culturelles, le seul moyen pour le concepteur de rendre son produit compatible avec les facteurs culturels locaux est d'amener les usagers visés à participer à la conception de ce produit.

L'importance de cette notion élémentaire, mais essentielle, doit être prise en considération dès le début du processus de conception. En conclusion, les principes de base d'une conception axée sur l'utilisateur peuvent être récapitulés comme suit (Gould et Lewis, 1985; Shackel 1986; Gould et coll., 1987; Gould 1988; Wang, 1992):

1. *Accent mis sur l'utilisateur de façon précoce et suivie.* L'utilisateur devrait être un membre actif de l'équipe de conception tout au long du processus de mise au point du produit (étude préliminaire, étude de détail, fabrication, vérification, phase d'amélioration).

2. *Conception intégrée.* Le système devrait être considéré comme un tout, pour assurer une démarche de type holistique. En d'autres termes, les différents aspects de l'adéquation du système devraient être étudiés conjointement par le bureau d'études.
3. *Essais d'utilisation précoces et répétés.* Les réactions de l'utilisateur devraient être testées sur prototypes ou à l'aide de simulations pendant l'exécution du travail réel dans l'environnement réel, et cela des premiers stades de la mise au point jusqu'au produit final.
4. *Conception itérative.* Etudes, essais et retouches sont à répéter de manière régulière jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants.

Lorsqu'il s'agit de concevoir un produit à l'échelle mondiale, le concepteur devrait tenir compte des besoins des consommateurs un peu partout dans le monde; l'accès à l'ensemble des utilisateurs et à toutes les conditions d'utilisation pratique permettant d'adopter une démarche de conception axée sur l'utilisateur est évidemment impossible. Le concepteur devrait s'efforcer dans ce cas de rassembler le maximum d'informations, officielles ou non (ouvrages de référence, normes, consignes, etc.) et de tirer ainsi parti de l'expérience acquise; il devrait, en outre, donner à son produit une capacité d'adaptation et une flexibilité suffisantes pour qu'il puisse répondre aux besoins d'une population d'utilisateurs aussi large que possible.

Il ne faut pas oublier qu'aucun concepteur n'est omniscient: il a besoin de faire appel non seulement aux utilisateurs potentiels, mais aussi aux autres acteurs du projet et, notamment, aux cadres, aux techniciens et au personnel chargé des réparations et de l'entretien. Dans tout processus participatif, il est souhaitable que les intéressés mettent leurs connaissances et leur expérience en commun et acceptent une responsabilité collective dans la fonctionnalité et la sécurité du produit ou du système réalisé.

● LES TRAVAILLEURS ÂGÉS

Antoine Laville et Serge Volkoff

Le statut d'un travailleur vieillissant varie suivant son état fonctionnel, lui-même marqué par son histoire professionnelle passée. Ce statut dépend aussi du poste de travail qu'il occupe et de la situation sociale, culturelle et économique du pays dans lequel il vit.

Ainsi, les travailleurs astreints à des efforts physiques importants sont aussi, le plus souvent, ceux qui ont le niveau scolaire le moins élevé et la formation professionnelle la plus restreinte. Ils subissent des contraintes de travail usantes, sources de pathologies, et ils sont exposés aux risques d'accidents. Dans ce contexte, leurs capacités physiques ont toutes les chances de diminuer vers la fin de leur vie active, ce qui les fragilise considérablement dans leur emploi.

A l'inverse, les travailleurs ayant bénéficié d'une scolarisation longue, puis de formations professionnelles qualifiantes, exercent en général des métiers où ils peuvent mettre en œuvre les connaissances ainsi acquises et enrichir progressivement leur expérience. Ils sont souvent à l'abri des environnements de travail les plus agressifs et peuvent voir leurs compétences reconnues et valorisées lorsqu'ils avancent en âge.

En période d'expansion économique et de pénurie de main-d'œuvre, on reconnaît au travailleur vieillissant des qualités de «conscience professionnelle», de régularité dans son travail, de capacité de maintenir des savoir-faire. En période de récession et de chômage, on insistera davantage sur ses performances, moins bonnes que celles des plus jeunes, et sur sa moindre capacité d'adaptation aux changements dans les techniques ou l'organisation du travail.

Suivant les pays, leur histoire, leurs traditions culturelles, leur mode et leur niveau de développement économique, la considéra-

tion et la solidarité vis-à-vis des travailleurs âgés sont plus ou moins manifestes, et leur protection est plus ou moins assurée.

Les différentes dimensions temporelles des relations âge/travail

Les relations entre vieillissement et travail recouvrent une grande diversité de situations que l'on peut considérer d'un double point de vue: d'une part, le travail apparaît comme un facteur de transformations du travailleur tout au long de sa vie active, transformations qui peuvent être négatives (usure, fragilisation des compétences, maladies, accidents) ou positives (acquisition de connaissances, expérience); d'autre part, le travail révèle des transformations liées à l'âge, ce qui aboutit à la marginalisation et même à l'exclusion du système de production, pour des travailleurs âgés exposés à des exigences de travail trop fortes au regard de leurs capacités déclinantes, ou ce qui permet au contraire une progression dans la carrière professionnelle si le contenu du travail favorise une valorisation de l'expérience.

L'avancée en âge joue donc le rôle d'un «vecteur» sur lequel s'inscrivent chronologiquement des événements de la vie, dans le travail et en dehors. Autour de cet axe s'articulent des processus de déclin et de construction, très variables d'un travailleur à l'autre. Pour traiter, dans la conception des moyens de travail, les problèmes des travailleurs vieillissants, il faut prendre en compte à la fois les caractéristiques dynamiques des transformations liées à l'âge, et la variabilité interindividuelle de ces transformations.

Les relations âge/travail sont donc à considérer au regard d'une triple évolution:

1. *Le travail évolue.* Les technologies se modifient; mécanisation, automatisation, informatisation, techniques de transmission d'information, entre autres, tendent ou tendront à se généraliser. Des produits nouveaux font leur apparition, d'autres disparaissent. Des risques nouveaux se révèlent ou s'étendent (rayonnements, produits chimiques), d'autres se raréfient. L'organisation du travail, la gestion de la main-d'œuvre, la répartition des tâches, les modalités d'horaires se transforment. Des secteurs de production se développent, d'autres régressent. D'une génération à l'autre, les situations de travail rencontrées pendant la vie active, les exigences qu'elles imposent et les compétences qu'elles requièrent ne sont pas les mêmes.
2. *Les populations au travail changent.* Les structures d'âge se modifient, au gré des mutations démographiques, des modalités d'entrée dans la vie active ou de départ en retraite et des comportements d'activité. La part des femmes dans la population active ne cesse d'évoluer. De véritables bouleversements s'opèrent dans le champ de la scolarisation, de la formation professionnelle et de l'accès au système de santé. Toutes ces transformations entraînent à la fois des effets de génération et des effets d'époque, qui affectent à l'évidence les relations âge/travail et qu'il est possible, dans une certaine mesure, d'anticiper.
3. Enfin — nous allons insister à présent sur ce point — *des transformations individuelles se font tout au long de la vie active*, et l'ajustement entre les caractéristiques d'un travail et celles des personnes qui l'effectuent est donc fréquemment remis en question.

Quelques processus de vieillissement organique et leur rapport avec le travail

Les principales fonctions organiques engagées dans le travail déclinent de manière observable à partir de 40 ou 50 ans, après que certaines d'entre elles ont connu un développement jusqu'à 20 ou 25 ans.

On constate en particulier une baisse, avec l'âge, de la force musculaire maximale et de l'amplitude articulaire maximale. La diminution est de l'ordre de 15 à 20% entre 20 et 60 ans, mais il

ne s'agit que d'une tendance globale, et la variabilité interindividuelle est très grande. De plus, on évoque ici des capacités maximales; le déclin est beaucoup moins net pour des sollicitations physiques plus modérées.

Une fonction très sensible à l'âge est celle de la régulation posturale. Cette difficulté n'est pas très apparente pour des postures de travail courantes et stables (debout ou assises), mais elle se manifeste dans les situations de déséquilibre nécessitant des ajustements précis, des contractions musculaires fortes ou la sollicitation d'articulations dans des angulations extrêmes. Ces problèmes prennent une ampleur accrue quand le travail doit s'effectuer sur des supports instables ou glissants, ou lorsque le travailleur subit un choc ou une secousse imprévisible. Il en résulte que les accidents par perte d'équilibre deviennent plus fréquents quand l'âge s'élève.

La régulation du sommeil, quant à elle, se fragilise à partir de 40-45 ans. Elle devient plus sensible à des changements d'horaires (tels ceux provoqués par le travail de nuit ou le travail posté) et à des environnements perturbants (bruit, éclairage). Il s'ensuit des modifications dans la durée et la qualité du sommeil.

La thermorégulation est également rendue plus difficile avec l'âge, ce qui pose aux travailleurs âgés des problèmes spécifiques vis-à-vis du travail dans la chaleur, surtout s'il s'agit de réaliser un travail physique intense.

Quant aux fonctions sensorielles, elles commencent à être atteintes très tôt, mais les déficiences qui en résultent ne se marquent guère avant 40 ou 45 ans. La fonction visuelle est globalement atteinte: l'amplitude d'accommodation diminue (ce qui peut être corrigé par des verres appropriés), ainsi que le champ visuel périphérique, la perception de la profondeur, la résistance à l'éblouissement et la transmission de la lumière à travers le cristallin. La gêne ainsi apportée n'est sensible que dans des conditions particulières: faible éclairage, sources d'éblouissement, objets ou textes de très petites dimensions ou mal présentés, etc.

Le déclin de la fonction auditive touche le seuil d'audition des fréquences élevées (sons aigus), mais il se traduit surtout par la gêne dans la discrimination des signaux sonores en environnement bruyant. Ainsi, l'intelligibilité de la parole devient plus difficile en présence de bruit ambiant ou de réverbération importante.

Les autres fonctions sensorielles sont en général peu atteintes à ces périodes de la vie.

On voit que, de façon générale, ce déclin organique est sensible surtout dans des situations extrêmes. Celles-ci, en tout état de cause, doivent aussi être aménagées pour éviter des difficultés, même chez les jeunes travailleurs. Par ailleurs, les déficiences des travailleurs vieillissants peuvent être compensées par des stratégies particulières, souvent acquises avec l'expérience, lorsque les conditions et l'organisation du travail le permettent: utilisation d'appuis complémentaires lors de postures déséquilibrées, manière de soulever et de transporter des charges réduisant les efforts extrêmes, organisation de l'exploration visuelle pour repérer les informations utiles, etc.

Le vieillissement cognitif: ralentissement et apprentissage

S'agissant à présent des fonctions cognitives, on retiendra d'abord que l'activité de travail met en jeu des mécanismes fondamentaux de réception et de traitement de l'information, d'une part, et, d'autre part, des connaissances acquises tout au long de la vie. Ces connaissances portent essentiellement sur la signification des objets, des signaux, des mots, des situations (connaissances «déclaratives»), et sur les façons de faire (connaissances «procédurales»).

La mémoire à court terme permet de stocker, quelques dizaines de secondes ou quelques minutes, les informations utiles détectées. Le traitement de ces informations est effectué par confrontation avec les connaissances mémorisées de manière permanente. Le

vieillesse agit alors de plusieurs manières sur ces mécanismes: 1) du fait de l'expérience, il enrichit les connaissances, la capacité de mieux choisir les informations utiles et leur traitement, surtout dans les tâches assez fréquemment réalisées, mais, 2) le temps de traitement de ces informations s'allonge en raison du vieillissement du système nerveux central, et la mémoire à court terme est plus fragile.

Ces fonctions cognitives sont fortement dépendantes de l'environnement vécu par le travailleur et, partant, de son histoire, de sa formation, des situations de travail auxquelles il a été confronté. Les transformations avec l'âge se marquent donc par des combinaisons très variées de phénomènes de déclin et de construction où chacun de ces deux termes peut être plus ou moins accentué.

Si, au cours de sa vie professionnelle, le travailleur n'a bénéficié que d'une courte formation, qu'il a eu à exécuter des tâches relativement simples et répétitives, ses connaissances seront réduites et il se trouvera en difficulté face à des tâches nouvelles ou peu familières. Si, par ailleurs, il doit exécuter des travaux sous forte contrainte de temps, l'altération de ses capteurs sensoriels et le ralentissement de sa vitesse de traitement de l'information constitueront un handicap. Si, à l'inverse, il a suivi une scolarisation et une formation professionnelle solides, s'il a eu à réaliser des tâches variées, il a pu ainsi enrichir ses compétences, alors ses déficiences sensorielles ou cognitives liées à l'âge pourront être largement compensées.

On comprend ainsi la place essentielle que peut jouer la formation continue dans le parcours professionnel des travailleurs vieillissants. Les changements du travail obligent de plus en plus souvent à des actions périodiques de formation, mais les plus âgés n'en bénéficient guère. Il est fréquent que les entreprises ne jugent pas rentable de former un travailleur proche de la fin de sa vie active, et ce, d'autant plus que les difficultés d'apprentissage sont censées s'accroître avec l'âge. De même, les travailleurs eux-mêmes hésitent à se former, craignant de ne pas réussir et ne voyant pas toujours clairement les bénéfices qu'ils peuvent tirer d'une formation.

En fait, avec l'âge, la manière d'apprendre se transforme. Alors qu'un jeune enregistre les connaissances qui lui sont transmises, une personne plus âgée a besoin de comprendre comment s'organisent ces connaissances par rapport à ce qu'elle sait déjà, quelle en est la logique, quelle en est la justification pour le travail. Elle a aussi besoin de temps pour apprendre. Aussi, la réponse au problème de la formation des travailleurs âgés passe d'abord par une pédagogie différenciée suivant les âges, les connaissances et les expériences de chacun, en prévoyant a priori une durée de formation plus longue pour les plus âgés.

Le vieillissement des hommes et des femmes au travail

Les différences avec l'âge entre hommes et femmes se situent sur deux plans bien distincts. Sur le plan organique: l'espérance de vie est très généralement plus élevée chez les femmes que chez les hommes, mais ce que l'on nomme espérance de vie sans incapacité est très proche chez les deux sexes — jusqu'à 65-70 ans. Au-delà, les femmes sont en général plus pénalisées. Par ailleurs, les capacités physiques maximales des femmes sont en moyenne inférieures de 30% à celles des hommes et cette différence tend à persister avec l'avancée en âge. Toutefois, la dispersion dans ces deux groupes est grande et les deux distributions ont des recouvrements.

Sur le plan de la carrière professionnelle, il existe de grandes différences. Les femmes sont en moyenne moins formées professionnellement que les hommes à leur entrée au travail, elles occupent plus souvent des postes moins qualifiés, ont des carrières professionnelles moins valorisantes. Avec l'âge, elles bénéficient alors des postes où certaines contraintes, telles que la contrainte de temps, la répétitivité du travail, sont fortes. Aucune différence

sexuée dans l'évolution des capacités cognitives avec l'âge ne peut être établie sans référence à ce contexte socioprofessionnel.

Si la conception des postes doit tenir compte de ces différences, des actions sont surtout à mener pour favoriser la formation professionnelle initiale et continue des femmes et construire des parcours professionnels qui accroissent leur expérience et la valorisent. Ces actions sont alors à mener à bien avant la fin de leur vie active.

Le vieillissement des populations au travail: l'intérêt des données collectives

Il y a deux raisons, au moins, de s'intéresser aux approches collectives et quantifiables concernant le vieillissement de la population au travail. La première raison est que de telles données vont être nécessaires pour évaluer et prévoir les effets du vieillissement dans un atelier, un service, une entreprise, un secteur ou un pays. La deuxième raison est que les principales composantes du vieillissement sont elles-mêmes des phénomènes à caractère probabiliste: tous les travailleurs ne vieillissent pas de la même façon, ni au même rythme. C'est donc au moyen d'outils statistiques que divers aspects du vieillissement vont parfois se révéler, se confirmer ou s'apprécier.

L'instrument le plus simple en ce domaine est la description des structures d'âge et de leur évolution, en lien avec un découpage pertinent vis-à-vis du travail: secteur économique, profession, groupe de postes de travail, etc.

Lorsqu'on constate, par exemple, que la structure d'âge d'une population, dans un atelier, demeure stable et jeune, on peut se poser la question des caractéristiques du travail qui joueraient un rôle sélectif à partir d'un certain âge. Si, au contraire, cette structure est stable et âgée, l'atelier joue un rôle d'accueil pour des personnes venues d'autres secteurs de l'entreprise; les raisons de ces mouvements méritent alors d'être étudiées et l'on peut également vérifier que le travail dans cet atelier se prête bien aux caractéristiques d'une main-d'œuvre vieillissante. Si, enfin, la structure d'âge se décale régulièrement, reflétant simplement les niveaux de recrutement d'une année à l'autre, on se trouve vraisemblablement dans une situation où les personnes «vieillissent sur place»; cela implique parfois une réflexion spécifique, surtout si le nombre annuel de recrutements tend à diminuer, ce qui va déplacer l'ensemble de la structure vers les âges élevés.

La compréhension de ces phénomènes peut se trouver enrichie si l'on dispose de données chiffrées concernant les conditions de travail sur les postes actuellement occupés par les travailleurs et (si possible) les postes qu'ils ont cessé d'occuper. Les horaires de travail, les types de contraintes rythmiques, la nature des efforts fournis, l'environnement de travail et, même, certaines composantes cognitives, peuvent se prêter à des interrogations (auprès des travailleurs eux-mêmes) ou à des évaluations (par des experts). Il est alors possible de mettre en lien ces caractéristiques du travail actuel et du travail passé avec l'âge des travailleurs concernés, et d'élucider ainsi les mécanismes de sélection que les conditions de travail peuvent engendrer à certains âges.

On peut enrichir encore ces investigations en recueillant également des éléments concernant l'état de santé des travailleurs. Ces éléments peuvent provenir d'indicateurs objectifs, comme les taux d'accidents du travail ou les absences pour maladie. Mais ces indicateurs demandent souvent de grandes précautions méthodologiques, car s'ils reflètent effectivement des atteintes à la santé qui peuvent être reliées au travail, ils traduisent aussi la stratégie de l'ensemble des acteurs vis-à-vis des déclarations d'accidents ou des arrêts pour maladie: les travailleurs eux-mêmes, l'encadrement, les médecins peuvent avoir à cet égard des stratégies variées, et rien ne garantit que ces stratégies soient indépendantes de l'âge du travailleur. Les comparaisons entre âges sur ces indicateurs sont donc souvent délicates.

On aura donc recours, quand cela est possible, à des données issues de l'autoévaluation de la santé par les travailleurs ou recueillies lors d'examen médicaux. Ces données peuvent porter sur des pathologies dont la prévalence variable selon l'âge a besoin d'être mieux connue, dans une optique d'anticipation et de prévention. Mais l'étude du vieillissement s'appuiera surtout sur l'appréciation de phénomènes infrapathologiques, comme certaines dégradations fonctionnelles (douleurs et limitations articulaires, vision et audition, fonctionnement de l'appareil respiratoire) ou encore certaines formes de difficultés, voire d'incapacité (monter une marche de niveau élevé, effectuer un geste précis, maintenir son équilibre dans une position délicate).

La mise en relation des données concernant l'âge, le travail et la santé s'avère alors à la fois riche et complexe. Leur exploitation permet de mettre en évidence plusieurs types de liaisons (ou de présumer leur existence). Il peut s'agir de relations causales simples, une exigence du travail accélérant une forme de dégradation de l'état fonctionnel quand l'âge avance, mais ce cas n'est pas le plus fréquent. Bien souvent, on sera amené à apprécier simultanément l'effet d'un *cumul* de contraintes sur un ensemble de caractéristiques de la santé et, en même temps, l'effet de mécanismes de sélection aux termes desquels les travailleurs dont la santé s'est dégradée peuvent se trouver mis à l'écart de certaines conditions de travail (ce que les épidémiologistes baptisent «healthy worker effect», ou «effet du travailleur sain»).

On peut ainsi évaluer la robustesse de cet ensemble de relations, étayer certaines connaissances fondamentales en psychophysiologie et, surtout, disposer d'informations utiles pour construire des stratégies anticipatrices vis-à-vis du vieillissement au travail.

Quelques modalités d'action

Les actions à entreprendre pour maintenir en emploi les travailleurs vieillissants, sans conséquences négatives pour eux, doivent s'appuyer sur plusieurs grandes orientations:

1. Ne pas considérer cette tranche d'âge comme une catégorie à part, mais considérer l'âge comme un facteur de diversité parmi d'autres, dans la population active; des mesures de protection trop ciblées et trop accentuées tendraient à marginaliser et à fragiliser les populations concernées.
2. Anticiper les transformations individuelles et collectives liées à l'âge, ainsi que les changements dans les techniques et l'organisation du travail. La gestion des ressources humaines ne peut se réaliser de façon efficace que si elle s'inscrit dans le temps pour préparer les filières professionnelles et les formations appropriées. La conception des moyens de travail peut alors tenir compte à la fois des solutions techniques et organisationnelles disponibles et des caractéristiques de la (future) population concernée.
3. Tenir compte de la diversité des solutions individuelles tout au long de la vie active pour créer les conditions d'une diversité équivalente dans les parcours professionnels et les situations de travail.
4. Favoriser les processus de construction de compétences et atténuer les processus de déclin.

Sur la base de ces quelques principes, on peut d'abord définir quelques actions immédiates. Celles-ci vont porter par priorité sur les conditions de travail susceptibles de poser des problèmes particulièrement aigus pour les travailleurs âgés. Il s'agit, comme on l'a dit, des contraintes posturales, des efforts extrêmes, des contraintes temporelles les plus strictes (comme le travail à la chaîne, la production élevée imposée), des environnements agressifs (température, bruit) ou non appropriés (ambiance lumineuse), des horaires nocturnes ou alternants.

Un repérage systématique de ces contraintes aux postes occupés (ou susceptibles d'être occupés) par des travailleurs âgés permet

d'établir un état des lieux et d'indiquer des priorités d'action. Le repérage peut se faire à partir de grilles d'observation préétablies. Il peut également s'appuyer sur l'analyse de l'activité des opérateurs, ce qui permettra de relier l'observation de leur comportement avec les explications qu'ils donnent sur leurs difficultés. Dans ces deux cas, des mesures d'effort ou de paramètres de l'environnement peuvent compléter les observations.

Au-delà de ce repérage, les actions à mener ne peuvent être décrites ici, puisqu'elles sont évidemment spécifiques à chaque situation de travail. Le recours à des normes peut parfois être utile, mais peu de normes tiennent compte des aspects spécifiques du vieillissement, et chacune d'elles traite d'un domaine particulier, ce qui conduit à réfléchir isolément à chaque composante de l'activité.

Outre les mesures immédiates, la prise en compte du vieillissement implique une réflexion à plus long terme, axée sur la recherche des marges de manœuvre les plus larges possible, dans la conception des moyens de travail.

Ces marges de manœuvre sont d'abord à chercher dans la conception des postes et des instruments de travail. Les espaces restreints, les outils non réglables, les logiciels sans souplesse d'utilisation, en bref, toutes les caractéristiques du poste qui limitent l'expression de la diversité humaine dans la réalisation de la tâche ont toutes les chances de pénaliser une part importante des salariés âgés. Il en va de même pour les formes d'organisation les plus contraignantes: répartition des tâches totalement prédéterminée, butées temporelles fréquentes et impératives, consignes trop nombreuses ou trop strictes (sauf évidemment lorsqu'il s'agit d'impératifs essentiels pour la qualité de la production ou la sécurité d'une installation). C'est donc la recherche de régulations individuelles et collectives variées qui peut faciliter l'insertion réussie des salariés vieillissants dans l'appareil de production. L'une des conditions du succès de ces régulations est évidemment la mise en œuvre de programmes de formation professionnelle, étendus aux travailleurs de tous âges, et établis en tenant compte de leurs spécificités.

La prise en compte du vieillissement dans la conception des moyens de travail relève ainsi d'un ensemble d'actions coordonnées (diminution globale des contraintes extrêmes, ouverture des stratégies possibles dans l'organisation du travail, recherche continue de l'acquisition de compétences), qui s'avèrent d'autant plus efficaces et d'autant moins coûteuses qu'elles s'inscrivent dans la durée et font l'objet d'une réflexion anticipatrice. Le vieillissement de la population est un phénomène suffisamment lent et prévisible pour qu'il soit possible de mettre en place des stratégies de prévention adaptées.

● LES TRAVAILLEURS AYANT DES BESOINS PARTICULIERS

Joke H. Grady-van den Nieuwboer

Concevoir pour les personnes handicapées, c'est concevoir pour tout le monde

Il existe sur le marché d'innombrables produits dont on voit immédiatement qu'ils ne sont pas adaptés à l'ensemble de leurs usagers. Que penser d'une porte d'entrée trop étroite pour qu'une personne corpulente ou une femme enceinte puisse la franchir aisément? Faut-il incriminer sa conception physique si elle satisfait à tous les essais de fonctionnement mécanique? Or, ces personnes ne peuvent assurément pas être considérées comme handicapées sur le plan physique, car elles peuvent être en parfaite santé. Il est des appareils qui nécessitent des manipulations considérables

avant de fonctionner de manière satisfaisante (c'est le cas de certains ouvre-boîtes bon marché). Or, on ne saurait considérer comme handicapée une personne en bonne santé qui a du mal à les utiliser. Le concepteur qui intègre parfaitement les considérations d'interaction entre l'être humain et le produit accroît l'utilité fonctionnelle de celui-ci. En l'absence de bonne conception fonctionnelle d'un produit, les personnes souffrant d'un handicap mineur pourront avoir des difficultés à l'utiliser. C'est l'interface utilisateur-machine qui détermine la qualité de la conception pour tous les utilisateurs.

C'est un truisme de rappeler que la technologie est au service de l'homme et que son utilisation doit permettre d'accroître les capacités de celui-ci. Pour les personnes handicapées, cet objectif revêt une importance capitale. Dans les années quatre-vingt, on s'est préoccupé de concevoir des cuisines à leur intention. L'expérience ainsi acquise a influencé la conception des cuisines «normales»; en ce sens, la personne handicapée a été l'artisan d'un progrès. Dans un autre ordre d'idées, on rappellera que les handicaps et les incapacités d'origine professionnelle — il suffit de songer aux douleurs musculo-squelettiques et autres dont souffrent souvent ceux qui sont confinés aux tâches sédentaires devenues monnaie courante aux postes de travail modernes — exigent des concepteurs un effort visant non seulement à écarter ces conditions, mais aussi à mettre au point une technologie compatible avec l'utilisateur et adaptée aux besoins d'opérateurs souffrant déjà de troubles liés à leur travail.

L'individu moyen

Un concepteur ne saurait focaliser son attention sur une population restreinte et par conséquent non représentative. Au sein de certains groupes, il peut être très risqué de nourrir des hypothèses sur d'éventuelles similitudes. Ainsi, un ouvrier victime d'un accident à l'âge adulte ne sera pas nécessairement très différent sur le plan anthropométrique d'une personne en bonne santé, comparable par ailleurs; on peut considérer qu'il fait partie de la grande moyenne. En revanche, un jeune enfant victime d'un accident semblable présentera une anthropométrie fort différente à l'âge adulte, car son développement musculaire et moteur aura été influencé par les stades antérieurs de sa croissance; dans ce cas, on ne se hasarderait pas à tirer des conclusions sur la comparabilité à l'âge adulte. Il faut considérer les deux cas comme distincts, le premier étant le seul à se situer dans la grande moyenne. Toutefois, il ne faut pas oublier que si l'on part d'une conception convenant à 90% de la population, un effort un peu plus grand permettrait de porter cette proportion à 95%, ce qui réduirait sensiblement la nécessité de concevoir des produits destinés à des groupes spécifiques.

Une autre manière d'aborder la conception pour la masse de la population consiste à réaliser deux produits, chacun étant conçu grosso modo pour correspondre à deux centiles extrêmes. On pourrait par exemple songer à fabriquer deux chaises de taille différente munies de supports permettant de régler la hauteur de l'une de 38 à 46 cm et celle de l'autre de 46 à 54 cm. On trouve déjà sur le marché des tenailles de deux tailles: l'une est adaptée aux dimensions moyenne et grande des mains masculines, l'autre à la dimension moyenne des mains féminines et aux mains d'hommes de petite taille.

Si chaque entreprise affectait chaque année une somme modique à l'étude des postes de travail, afin de mieux les adapter aux personnes qui les occupent, cela permettrait d'éviter les troubles, les incapacités de travail et l'absentéisme liés à une contrainte physique excessive. En outre, les travailleurs sont plus motivés lorsqu'ils se rendent compte que la direction de l'entreprise cherche à améliorer leurs conditions de travail, et leur motivation s'accroît encore lorsque des mesures concrètes sont prises en leur faveur: analyse approfondie du travail, réalisation de maquettes,

mesurations anthropométriques et, même, création d'ateliers spéciaux pour certaines catégories de travailleurs. On en arrive ainsi à repenser l'aménagement de l'ensemble des postes de travail pour des considérations d'ordre essentiellement ergonomique.

Rentabilité et facilité d'utilisation

Les ergonomes effectuent des analyses de rentabilité «élargie» pour évaluer les résultats d'une politique ergonomique en dehors du domaine purement économique. Dans le domaine industriel et commercial, cette évaluation porte à la fois sur les incidences positives et négatives.

Les méthodes d'évaluation de la qualité et de la facilité d'utilisation font actuellement l'objet d'études poussées. Le Rehabilitation Technology Useability Model (RTUM) illustré à la figure 29.51 peut servir de modèle pour déterminer la facilité d'utilisation d'un produit dans l'optique de la réadaptation fonctionnelle et pour mettre en lumière les différents aspects du produit qui définissent ses possibilités d'exploitation.

D'un point de vue strictement économique, il est possible de calculer le coût de création d'un système dans le cadre duquel une tâche donnée peut être exécutée ou un certain produit peut être fabriqué; chaque entreprise est naturellement désireuse d'obtenir un rendement maximal de ses investissements. Mais comment peut-on calculer le coût réel de l'exécution de la tâche ou de la fabrication du produit considéré par rapport à l'investissement consenti en tenant compte également de l'apport (variable par essence) des travailleurs sur les plans physique, cognitif et mental? De fait, l'appréciation de la performance humaine repose, entre autres facteurs, sur la perception qu'ont les travailleurs de ce qui doit être fait, sur la façon dont ils jugent leur propre contribution et sur l'idée qu'ils se font de l'entreprise. En réalité, c'est la satisfaction intrinsèque retirée du travail qui constitue la norme de valeur dans ce contexte, et c'est cette satisfaction (jointe à la qualité des objectifs de l'entreprise) qui les incite à travailler. Le bien-être et la performance sont déterminés, on le voit, par une large palette d'expériences, d'associations et de perceptions qui déterminent les attitudes envers le travail et la qualité finale de la performance; le modèle RTUM est fondé précisément sur cette notion.

Si l'on rejette ce point de vue, on est réduit à juger tout investissement à la seule lumière de résultats vagues et douteux. Les

ergonomes et les médecins qui voudront améliorer l'environnement de travail des personnes handicapées auront du mal dans ce cas à trouver le moyen de justifier le coût des mesures requises. En général, ils invoqueront les économies réalisées grâce à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles et à la réduction de l'absentéisme. Or, si les dépenses liées aux accidents et à la maladie sont prises en charge par l'Etat, elles deviennent en quelque sorte financièrement invisibles pour l'entreprise et ne sont pas prises en considération par l'entreprise dans ses calculs de rentabilité.

Des chefs d'entreprises de plus en plus nombreux prennent toutefois conscience du fait que les dépenses consenties pour la sécurité et la santé au travail sont de l'argent bien dépensé. Ils réalisent que le coût «social» des incapacités de travail se traduit en définitive par un coût pour l'économie nationale et qu'un travailleur immobilisé représente une charge pour la collectivité. Le fait d'investir dans le lieu de travail (c'est-à-dire dans l'adaptation des postes de travail, la mise à disposition d'équipements spéciaux ou même des conseils en matière d'hygiène personnelle) peut non seulement accroître la satisfaction au travail, mais offrir aussi une plus grande autonomie aux travailleurs et ne pas en faire des assistés.

On peut effectuer des analyses coûts-bénéfices pour déterminer si une intervention spéciale sur le lieu de travail se justifie dans le cas de personnes handicapées. Les éléments ci-après pourront être utiles à cette fin:

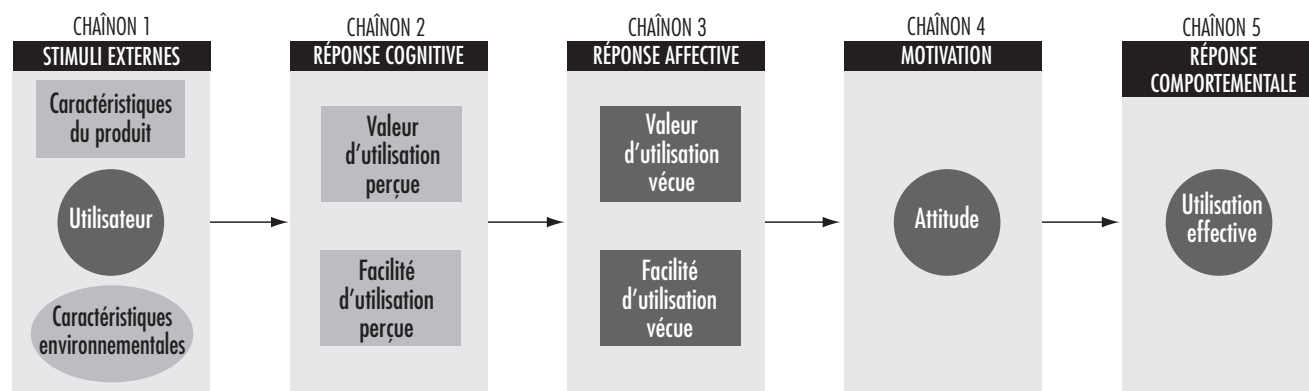
1. Personnel

- Absentéisme: le travailleur handicapé pourra-t-il être assidu à son poste?
- Doit-on s'attendre à des frais supplémentaires pour sa formation à des tâches particulières?
- Des changements de personnel s'imposent-ils? Leur coût doit également être pris en compte.
- Doit-on s'attendre à une augmentation des cotisations d'assurance?

2. Sécurité

- Le poste envisagé pour la personne handicapée fait-il l'objet d'une réglementation de sécurité?
- Faut-il prévoir des mesures de sécurité spéciales pour les travailleurs handicapés?

Figure 29.51 • Modèle RTUM (Rehabilitation Technology Useability Model)



Le modèle RTUM (Rehabilitation Technology Useability Model) a été élaboré comme outil d'aide à la conception (voir également figure 29.49).

Des informations peuvent être recueillies dans les chaînons RTUM 1 et 2 de la phase précédant le document relatif aux exigences produit (PRD). Le prototype peut être évalué d'après les chaînons RTUM 2 et 3, et la série zéro d'après les chaînons 2, 3, 4 et 5.

Source: Grady et de Vries, 1994.

- Le travail est-il caractérisé par une fréquence élevée d'accidents ou d'incidents dangereux?

3. Santé

- Si un travailleur est soumis à un examen médical en vue de son insertion ou de sa réintégration au travail, il faut évaluer la nature et la gravité de son incapacité.
- Il faut également tenir compte de la durée de son absence du travail.
- Quelle est la nature et quelle est l'importance des symptômes secondaires chez le travailleur handicapé, et comment sont-ils traités? Peut-on prévoir le développement d'une pathologie secondaire bénigne susceptible d'altérer le rendement du travailleur?

En ce qui concerne le temps de travail perdu, le calcul peut être fait en termes de salaires, de frais généraux, d'indemnités et de perte de production. Le type d'analyse qui vient d'être décrit constitue une démarche rationnelle qui permet à l'entreprise de décider en connaissance de cause s'il est préférable pour un travailleur handicapé de retourner travailler et si l'entreprise y trouve un intérêt.

Dans la réflexion qui précède sur la conception des systèmes pour la population au sens large, l'accent a été mis sur l'ajustement à l'utilisateur et sur l'évaluation coûts-bénéfices. Bien qu'il soit toujours malaisé de tenir compte de tous les facteurs pertinents, les recherches se poursuivent sur des méthodes de modélisation. Dans quelques pays, tels que les Pays-Bas et l'Allemagne, l'Etat a pour politique d'alourdir la responsabilité des entreprises au titre des préjudices personnels subis au travail; cette évolution va certainement induire une modification radicale des réglementations et de la structure des assurances. Il est désormais plus ou moins de règle dans ces pays que le travailleur qui a eu un accident du travail invalidant reçoive un poste de travail adapté ou qu'on lui propose un autre travail au sein de l'entreprise; cette politique représente un indéniable progrès sur le plan humain.

Les travailleurs ayant une capacité fonctionnelle limitée

En matière de conception, qu'il s'agisse ou non d'utilisateurs handicapés, le progrès est entravé par la pénurie des données de recherche. Les recherches consacrées aux travailleurs handicapés sont pratiquement inexistantes. Il n'existe par conséquent d'autre alternative que de procéder à des études empiriques faisant appel à l'observation et à la mesure.

Lors de la collecte d'informations, il faut non seulement tenir compte de l'état fonctionnel de la personne handicapée, mais aussi s'efforcer de prévoir les changements induits par l'évolution d'un état chronique. Ce genre de renseignements peut être obtenu auprès du travailleur lui-même ou d'un médecin spécialiste.

Lorsqu'il étudie, par exemple, une activité faisant intervenir un effort physique, le concepteur ne va pas se baser sur la force maximale que la personne handicapée serait capable d'exercer: il va tenir compte d'une éventuelle diminution de cette force selon l'évolution de l'état du travailleur handicapé; ainsi, celui-ci pourra continuer d'utiliser des équipements conçus ou adaptés à son intention.

Les ingénieurs devraient par ailleurs éviter les solutions qui impliquent des gestes ou des mouvements du corps jusqu'aux portées ou amplitudes extrêmes et se baser sur des portées et des amplitudes moyennes. Voici une illustration, simple mais parlante, de ce principe. On trouve couramment, sur les tiroirs des buffets de cuisine ou des bureaux, des poignées qui ont une forme concave vers le bas. On les saisit par les doigts par dessous, puis on applique une force vers le haut et on tire pour ouvrir le tiroir. Cette manœuvre nécessite une supination du poignet à 180° (la paume de la main étant dirigée vers le haut), c'est-à-dire à l'ampli-

tude articulaire maximale de ce type de mouvement. Cela ne présente en général aucune difficulté pour une personne en bonne santé dès lors que le tiroir s'ouvre sans effort exagéré et n'est pas à un endroit malcommode; en revanche, l'effort s'accroît sensiblement si le tiroir est difficile à ouvrir ou si la supination à 180° est impossible ou trop contraignante pour une personne handicapée. Une poignée disposée verticalement serait beaucoup plus efficace sur le plan moteur et plus facile à manier pour l'ensemble de la population.

La capacité fonctionnelle sur le plan physique

Les trois grandes catégories de limitation de la capacité fonctionnelle physique intéressent l'appareil locomoteur, le système nerveux et le système énergétique. S'ils tiennent compte des principes de base ci-après concernant les fonctions corporelles, les concepteurs auront une meilleure idée de la nature des contraintes subies par l'utilisateur ou le travailleur.

L'appareil locomoteur. L'appareil locomoteur se compose des os, des articulations, des tissus conjonctifs et des muscles. La nature de la structure des articulations détermine l'amplitude des mouvements possibles. Ainsi, l'articulation du genou présente un degré de mouvement et de stabilité qui n'est pas le même que celui de l'articulation de la hanche ou de l'épaule. Ce sont ces caractéristiques des différentes articulations qui définissent les mouvements que peuvent exécuter les bras, les mains, les pieds, etc. Il existe également différents types de muscles. Pour une partie du corps donnée, c'est le type de muscle, le fait qu'il passe sur une ou deux articulations et son emplacement qui déterminent la direction de son mouvement, sa rapidité et la force qu'il est capable de développer.

Le fait que la direction, la rapidité et la force d'un mouvement puissent être caractérisés et calculés revêt une grande importance pour la conception. Pour les personnes handicapées, il faut tenir compte du fait que les muscles concernés ne se trouvent plus à leur emplacement «normal» et que l'amplitude de mouvement des articulations a été modifiée. Chez un amputé, par exemple, un muscle peut ne fonctionner que partiellement ou avoir été déplacé; par conséquent, il faut étudier de près la capacité physique du sujet pour déterminer quelles sont les fonctions résiduelles et quel est leur degré de fiabilité. On trouvera ci-après une étude de cas.

Un menuisier âgé de 40 ans avait perdu le pouce et le majeur de la main droite dans un accident. Cherchant à rétablir sa capacité de travail, le chirurgien avait procédé à l'ablation du gros orteil d'un pied du patient et l'avait greffé à la place du pouce sectionné. Après une période de rééducation, le menuisier avait repris son travail, sans pouvoir toutefois travailler plus de trois à quatre heures d'affilée. En fait, ses outils n'étaient pas adaptés à la structure «anormale» de sa main. En étudiant celle-ci sous l'angle de sa nouvelle capacité fonctionnelle et de sa nouvelle forme, le kinésithérapeute a pu faire réaliser de nouveaux outils mieux adaptés. Désormais, la charge supportée par la main est raisonnable et le menuisier a retrouvé une capacité de travail accrue.

Le système nerveux. On peut comparer le système nerveux à un poste de commande sophistiqué, équipé de capteurs de données ayant pour objet de déclencher et de diriger les mouvements et les actions des diverses parties du corps en interprétant les informations relatives à la position ainsi qu'à l'état mécanique, chimique et autre. Ce système est doté non seulement d'un mécanisme de rétroaction (la douleur, par exemple) qui induit des mesures correctives, mais aussi d'une capacité de «préaction» qui s'exprime par anticipation afin de maintenir un état d'équilibre. Il en est ainsi du travailleur qui accomplit un mouvement réflexe pour éviter une chute ou le contact avec les parties dangereuses d'une machine.

Chez la personne handicapée, le traitement physiologique de l'information peut être entravé. Ainsi, les mécanismes de rétro-

action et de préaction sont affaiblis ou inexistant chez un malvoyant et, sur le plan acoustique, chez un malentendant. Par ailleurs, les circuits de commande importants sont interactifs. Les signaux sonores agissent sur l'équilibre d'une personne, conjointement avec les circuits proprioceptifs qui situent les parties du corps dans l'espace grâce aux données fournies par les muscles et les articulations, avec le concours de signaux visuels. Le cerveau peut agir pour surmonter de très fortes défaillances de ces mécanismes en rectifiant les erreurs de codage des informations et en «complétant» les informations manquantes. Mais il va de soi qu'au-delà de certaines limites, l'incapacité survient. Voici deux études de cas.

Cas n° 1. Une jeune femme de 36 ans a subi une lésion de la moelle épinière à la suite d'un accident de voiture. Elle peut s'asseoir sans aide et actionner son fauteuil roulant manuellement; son tronc est stable. En revanche, elle a perdu toute sensation dans les jambes, ce qui la rend notamment incapable de ressentir les changements de température.

Elle a chez elle un poste de travail assis (sa cuisine a été aménagée de manière à lui permettre de travailler assise). Par mesure de sécurité, l'évier a été installé à un endroit suffisamment isolé pour réduire le plus possible le risque qu'elle se brûle les jambes avec de l'eau bouillante, puisque ses jambes ne sont plus capables de sentir la chaleur.

Cas n° 2. Une mère était en train de baigner son petit garçon de 5 ans paralysé du côté gauche lorsqu'on a sonné à la porte. Laisse seul un instant, l'enfant s'est brûlé en ouvrant le robinet d'eau chaude. La baignoire aurait dû être équipée d'un thermostat placé hors de portée du garçonnet.

Le système énergétique. Lorsque le corps humain doit accomplir un effort physique, il se produit des changements biologiques et physiologiques dans les cellules musculaires, encore que de manière relativement peu efficace. En effet, le «moteur» humain ne transforme qu'environ 25% de son apport d'énergie sous forme de travail mécanique, le reste de cette énergie représentant une déperdition thermique. Par conséquent, le corps humain n'est pas particulièrement adapté à un travail physique intense. Si le sujet doit exécuter un travail pénible, il va puiser dans ses réserves d'énergie. Ces réserves sont systématiquement utilisées lorsqu'une tâche est effectuée très rapidement, qu'elle débute brutalement (sans période d'échauffement) ou qu'elle implique un très gros effort.

L'organisme humain transforme l'énergie chimique contenue dans les nutriments de manière aérobie (par l'oxygène) et peut également le faire de manière anaérobie; au début d'un effort, l'apport d'oxygène n'étant pas suffisant, il puise dans ses réserves d'énergie. Le besoin de renouvellement d'air sur le lieu de travail contribue non seulement à l'apport d'oxygène, mais encore à l'élimination du gaz carbonique. L'apport d'oxygène atmosphérique, qui est si intimement lié au fonctionnement aérobie, dépend de plusieurs conditions:

- Tout d'abord, de la pression atmosphérique ambiante (environ 760 torrs, soit 21,33 kPa, au niveau de la mer). Bien que la fraction d'oxygène soit identique, sa pression partielle va diminuer avec l'altitude. C'est pourquoi l'exécution de tâches en haute altitude peut être rendue très difficile; ce point doit être pris en compte pour les travailleurs placés dans ces conditions.
- Pour les travailleurs effectuant des tâches pénibles, une aération adéquate est indispensable afin d'assurer un apport d'air frais, puisque l'organisme doit augmenter sa consommation d'oxygène en fonction de l'intensité et de la durée du travail.
- Au niveau des alvéoles pulmonaires, l'oxygène de l'air ambiant va diffuser dans les capillaires et être transporté par l'hémoglobine, le pouvoir d'oxygénation du sang dépendant du nombre de globules rouges.

- L'augmentation du transport d'oxygène aux tissus se fait par un accroissement du débit sanguin.
- Les personnes souffrant de problèmes cardiaques sont affectées lorsque l'augmentation du débit cardiaque, nécessaire à l'apport d'oxygène pour la fourniture d'énergie, se fait au profit des muscles.
- Par opposition à l'oxygène (l'organisme n'en disposant pas en réserve), la source d'énergie (le «carburant») ne doit pas être continuellement fournie de l'extérieur puisque l'organisme possède de grandes réserves de graisse et, dans une moindre mesure, de glycogène. Pour les travaux pénibles, nos muscles brûlent non seulement du glucose, mais encore des acides gras provenant des réserves de graisse. En voici un exemple:

Une personne souffrant d'asthme ou de bronchite, c'est-à-dire d'une affection qui touche les poumons, est fortement limitée dans son travail. Il faudrait étudier le rôle que jouent dans ce cas la charge physique et l'environnement. Un air ambiant pur contribuera largement à son confort. Il conviendra en outre de répartir la charge de travail tout au long de la journée pour éviter des pics intolérables.

La conception sur mesure

Dans certains cas, une conception spéciale peut s'imposer, pour une personne ou un petit groupe d'individus. C'est le cas, notamment, lorsque les tâches à exécuter excèdent les capacités d'une personne handicapée. Si, même après avoir été adaptés, les produits existant sur le marché ne répondent pas aux impératifs rencontrés, il faudra envisager une conception sur mesure. Que cette solution soit onéreuse ou non, il faut, indépendamment des aspects humanitaires, l'envisager sous l'angle de la faisabilité et de sa contribution à la viabilité de l'entreprise. En effet, un poste de travail conçu spécialement pour une personne handicapée ne sera rentable que si celle-ci peut y travailler plusieurs années et si le travail qu'elle effectue est un atout pour l'entreprise en termes de production. Si ce n'est pas le cas, et même si le travailleur fait valoir son droit à un tel poste, il vaut mieux faire preuve de réalisme. En tout état de cause, les problèmes de ce type sont délicats et doivent être abordés dans un esprit positif et en déployant un effort particulier sur le plan de la communication.

Les avantages de la conception sur mesure peuvent être récapitulés comme suit:

- Elle s'adapte à la perfection aux problèmes à résoudre.
- L'individu qui en bénéficie peut reprendre le travail et participer de nouveau à la vie sociale.
- Le travailleur peut être autosuffisant et ne pas devenir un assisté.
- Elle évite le coût économique qu'impliquerait la recherche et peut-être la formation d'un remplaçant.

La conception sur mesure présente cependant certains inconvénients:

- Il est peu probable qu'elle serve à plus d'une personne handicapée.
- Elle a souvent un coût élevé.
- Les produits qu'elle exige doivent, le plus souvent, être fabriqués à la main. Il n'est pas possible, dans la plupart des cas, de réaliser des économies par une fabrication en série.

Cas n° 1. Prenons le cas d'une réceptionniste en fauteuil roulant présentant en outre des troubles d'élocution et parlant de ce fait plutôt lentement. Tant que l'entreprise était petite, il n'y a pas eu de difficulté particulière et elle a continué d'y travailler pendant plusieurs années. Lorsque l'entreprise s'est agrandie, toutefois, ses handicaps ont commencé à poser problème. Elle aurait dû pouvoir s'exprimer et se déplacer plus vite, mais a été incapable de faire face à ces exigences nouvelles. On s'est efforcé de trouver une solution et un choix lui fut offert: soit on lui

fournissait un équipement spécial permettant de compenser partiellement ses handicaps, soit elle pouvait être mutée à un poste de bureau. Elle a opté pour la deuxième solution et travaille toujours dans cette entreprise.

Cas n° 2. Un jeune homme, dessinateur technique de son état, souffrait d'une grave lésion de la moelle épinière par suite d'un plongeon en eau peu profonde. Il avait besoin d'aide dans toutes ses activités quotidiennes. On a mis à sa disposition un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) grâce auquel il peut continuer à gagner sa vie en exerçant le métier qui était le sien, ce qui lui permet d'être autonome financièrement et de vivre avec sa compagne. Son espace de travail a été aménagé en fonction de ses besoins; il communique avec son entreprise par ordinateur ou par téléphone.

La conception sur mesure suit une démarche qui ne diffère pas vraiment de la conception générale dont il a été question plus haut. Le seul problème insurmontable qui risque de surgir en cours d'étude est que l'objectif ne puisse être atteint pour des raisons purement techniques: en d'autres termes, il n'existe pas de solution. Ainsi, une personne atteinte de la maladie de Parkinson a tendance, à un certain stade de l'évolution de son état, à tomber à la renverse. Un dispositif permettant d'éviter les chutes représenterait certes une excellente solution, mais sa réalisation n'est pas possible en l'état actuel de la technique.

La conception ergonomique des systèmes dans le cas de travailleurs souffrant de déficiences physiques particulières

On peut traiter ces déficiences en intervenant médicalement pour rétablir la fonction endommagée, mais on peut également dans bien des cas recourir à des mesures moins élaborées qui ne font pas appel à la compétence médicale. La décision dépend largement du type de déficience considéré et de sa gravité. Dès qu'il s'agit d'un traitement, les moyens ci-après s'offrent, séparément ou conjointement, au concepteur ou au chef d'entreprise:

- renoncer à une tâche;
- compenser l'incapacité du travailleur en lui assurant l'aide d'une machine ou d'une autre personne;
- subdiviser la tâche considérée en sous-tâches mieux gérables;
- modifier les outils utilisés;
- concevoir des outils et des machines sur mesure.

Sous l'angle de l'ergonomie, le traitement d'une incapacité comprend les points suivants:

- modification de la tâche;
- modification des outils utilisés;
- conception de nouveaux outils ou de nouvelles machines.

L'efficacité finale est la considération première en cas de modification d'outil ou de machine; elle dépend souvent de l'investissement consenti à cette fin, des problèmes techniques rencontrés et des changements fonctionnels à intégrer dans la nouvelle conception. Le confort et l'esthétique sont également des aspects à ne pas négliger.

La deuxième considération vise la question de savoir s'il s'agit d'un dispositif à usage général (auquel cas les modifications seront apportées à un produit existant) ou d'un dispositif conçu sur mesure. Dans le deuxième cas, chacun des aspects de l'incapacité du travailleur doit faire l'objet d'une étude ergonomique particulière. Ainsi, un travailleur souffrant d'une limitation des fonctions cérébrales suite à une attaque d'apoplexie, d'aphasie (difficulté à communiquer), d'une paralysie du bras droit et de parésie spasmodique de la jambe empêchant de la lever, peut avoir besoin des aides ci-après:

- ordinateur ou autre moyen de communication;
- outil(s) pouvant être actionné(s) par le bras valide;
- prothèse servant à rétablir la fonction de la jambe malade et à compenser la perte de la capacité de marche.

Existe-t-il une réponse globale à la question: quelle méthode de conception adopter pour les personnes handicapées? La conception ergonomique des systèmes est éminemment adaptée à cet objectif. Les études relatives à la situation de travail rencontrée ou au type de produit considéré nécessitent la mise en place d'une équipe chargée de recueillir les informations concernant soit un groupe particulier de personnes handicapées, soit un individu présentant un handicap spécifique. Cette équipe sera composée d'un ensemble de gens qualifiés et possèdera de ce fait une compétence technique globale très supérieure à la compétence technique d'un concepteur isolé; les connaissances médicales et ergonomiques pourront être exploitées aussi bien que les connaissances purement techniques.

Les contraintes de conception définies sur la base des données ainsi recueillies seront traitées avec la même objectivité et dans le même esprit d'analyse que celles concernant les utilisateurs en bonne santé. Pour les travailleurs handicapés comme pour ceux qui ne le sont pas, il faut étudier le comportement, le profil anthropométrique, les données biomécaniques (portée des mouvements, force, espace de manipulation utilisé, charge physique, etc.), les critères ergonomiques et les réglementations de sécurité. Il faut malheureusement reconnaître que les travaux de recherche consacrés aux travailleurs handicapés sont très peu nombreux. Il existe bien quelques études sur l'anthropométrie, un peu plus sur la biomécanique dans le domaine des prothèses et des orthèses, mais pratiquement aucune sur les capacités de charge physique (le lecteur trouvera quelques références utiles dans les «Références complémentaires» à la fin du présent chapitre). En outre, s'il est parfois aisé de recueillir et d'appliquer les données existantes, la tâche s'avère quand même souvent difficile, voire impossible. Or, il est indispensable d'obtenir des données objectives, aussi ardue que soit l'opération et aussi improbables que soient les chances de la mener à bien; en effet, le nombre des personnes handicapées disponibles à des fins de recherche est faible. En revanche, celles-ci sont très souvent plus que désireuses de participer aux études entreprises, car elles ont une conscience aiguë de l'importance d'une participation active de leur part. L'effort consenti est donc justifié non seulement pour les participants eux-mêmes, mais pour l'ensemble des personnes handicapées.

LA DIVERSITÉ ET L'IMPORTANCE DE L'ERGONOMIE – DEUX EXEMPLES

● CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE FAÇONNAGE DES DIAMANTS

*Issachar Gilad**

La conception des méthodes et des postes de travail manuel dans l'industrie de la taille des diamants n'a pas changé depuis des siècles. Les études concernant la santé des tailleurs de diamants ont mis en évidence des taux élevés de lésions musculo-squelettiques au niveau des mains et des bras et, en particulier, la présence de neuropathies cubitales au niveau du coude. Ces lésions sont dues aux contraintes musculo-squelettiques élevées qui s'exercent sur la partie supérieure du corps dans une profession où les manipulations se succèdent de manière presque ininterrompue. Le Technion Israel Institute of Technology a procédé à une étude ergonomique des postes et des maladies professionnelles chez les travailleurs qualifiés de l'industrie de la taille des diamants. Leur activité exige de nombreuses manipulations appelant des gestes et des efforts manuels fréquents et rapides. Une étude épidémiologique effectuée durant les années 1989-1992 dans l'industrie diamantaire en Israël a montré que ces mouvements entraînaient très fréquemment des problèmes sérieux au niveau des membres supérieurs, ainsi que dans la partie supérieure et inférieure du dos. Lorsque les travailleurs sont exposés à des risques professionnels de cette nature, des réactions en chaîne peuvent se produire qui sont susceptibles de toucher toute l'économie du secteur concerné.

Depuis des millénaires, les diamants sont des objets de fascination et des symboles de magnificence et de richesse. Des artisans et des artistes d'une habileté remarquable se sont efforcés, au fil des siècles, de parvenir à la beauté parfaite en améliorant l'aspect, la forme et la valeur de cette formation cristalline unique de carbone dur. Peu d'efforts ont été accomplis en revanche pour améliorer les conditions souvent difficiles d'un travail exigeant, ce qui étonne si l'on songe à la qualité des créations artistiques réalisées à partir du matériau brut et l'émergence d'une importante industrie internationale. La visite des musées du diamant en Angleterre, en Afrique du Sud et en Israël permet de constater que le poste de travail traditionnel n'a pas changé avec le temps. Vleeschdrager (1986) décrit les outils, les établis et les méthodes utilisés dans le façonnage des diamants et que l'on rencontre dans tous les ateliers de taille.

Les études ergonomiques effectuées dans différents ateliers ont mis au jour de nombreuses carences dans la conception technique des postes de polissage, carences qui sont responsables de douleurs lombaires et de tensions cervico-brachiales dues à la posture de travail. L'étude des micromouvements et l'analyse biomécanique des gestes accomplis par les polisseurs de diamants font apparaître des mouvements extrêmement intenses des mains et des bras qui impliquent des déplacements rapides, de fortes accélérations et de nombreuses répétitions des gestes sur des cycles très courts. Une étude des symptômes rencontrés chez les tailleurs de diamants a montré que, bien qu'il s'agisse en grande partie de sujets jeunes et sains dont 45% avaient moins de 40 ans, 64% d'entre eux souffraient de douleurs des épaules, 36% de douleurs des bras et 27% de douleurs des avant-bras. Lors du facettage et du polissage, une pression importante est appliquée par la main tenant l'outil sur un disque rotatif et vibrant.

* L'auteur remercie M.E. Messer et le professeur W. Laurig pour leur contribution aux aspects biomécaniques et ergonomiques du processus de polissage, ainsi que le professeur H. Stein et le docteur R. Langer pour leur aide concernant les aspects physiologiques. La recherche a été financée par une subvention du Comité pour la recherche et la prévention en matière de sécurité et de santé au travail du Ministère du Travail et des Affaires sociales d'Israël.

La première description connue d'un poste de travail de façonnage des diamants a été faite en 1568 en ces termes par l'orfèvre italien Benvenuto Cellini: «Un diamant est frotté contre un autre diamant jusqu'à ce que, par abrasion mutuelle, ils prennent tous deux la forme que le tailleur expérimenté souhaite obtenir». Cette description pourrait avoir été faite de nos jours: le rôle de l'opérateur humain n'a pas évolué depuis plus de 400 ans. Si l'on étudie les méthodes de travail, les outils et la nature des décisions impliquées dans le processus considéré, on s'aperçoit que la relation machine-utilisateur s'est à peine modifiée. Cette situation est unique dans le monde industriel: partout ailleurs, des modifications importantes ont accompagné l'introduction de l'automatisation, de la robotique et de l'informatisation, qui ont transformé radicalement le rôle du travailleur dans le monde d'aujourd'hui. On a constaté par ailleurs que les méthodes de travail utilisées en Europe (où la profession de tailleur est née) ne différaient guère de celles employées dans le reste du monde, qu'il s'agisse des tailleurs modernes de Belgique, des Etats-Unis ou d'Israël — spécialisées dans les tailles fantaisie et les diamants de grande valeur — ou des tailleurs de Chine, d'Inde et de Thaïlande, qui produisent généralement des formes plus populaires et des produits de qualité moyenne.

La méthode de polissage est basée sur l'abrasion du diamant brut par la poussière de diamant déposée sur une meule à concrétion diamantée. Compte tenu de la dureté du diamant, seul un broyage par friction contre un matériau carbone similaire permet de donner à la pierre sa forme géométrique et son fini brillant. Le matériel du poste de travail est composé de deux ensembles d'éléments de base: un ensemble mécanisé et des outils tenus à la main. Le premier ensemble comprend un moteur électrique qui entraîne un disque monté sur un arbre vertical, une table plate et solide (au centre de laquelle se trouve le disque), un siège et une source de lumière. Le deuxième ensemble comprend un support (ou griffes) dans lequel la pierre brute reste insérée durant toutes les phases du facettage et du polissage et qui est généralement tenu de la main gauche. Le champ visuel du tailleur est amplifié à l'aide d'une loupe tenue entre les trois premiers doigts de la main droite et utilisée avec l'œil gauche. Cette méthode de travail est imposée par un processus de formation stricte qui, dans la plupart des cas, ne tient pas compte de la latéralité manuelle. Durant le travail, le tailleur adopte une posture inclinée et appuie le support (ou griffes) contre le disque abrasif. Cette posture, qui exige que les bras soient posés sur la table de travail afin de stabiliser les mains, a tendance à provoquer des lésions externes du nerf cubital en raison de sa position anatomique. Ces lésions sont courantes parmi les tailleurs de diamants et sont assimilées à une maladie professionnelle depuis les années cinquante. On compte aujourd'hui près de 450 000 tailleurs de diamants de par le monde, dont environ 75% en Asie, plus particulièrement en Inde, pays qui a considérablement développé son industrie diamantaire au cours des deux dernières décennies. Le polissage est effectué manuellement, chacune des facettes du diamant étant produite par des polisseurs formés et entraînés à respecter une certaine partie de la forme géométrique de la pierre. Les polisseurs constituent le corps de métier le plus important de l'industrie du diamant puisqu'ils représentent environ 80% des effectifs de cette industrie. La majeure partie des risques professionnels de cette industrie pourraient donc être prévenus en procédant à un réaménagement des postes de polissage.

L'analyse des gestes montre que les opérations de polissage comprennent deux étapes: la première, appelée cycle de polissage, représente l'opération de base du polissage du diamant; la seconde, plus importante, appelée cycle de facettage, exige une

modification de la position de la pierre dans son support et un contrôle final. Le tout englobe donc les quatre opérations de base ci-après:

1. *Polissage*. Il s'agit du polissage à proprement parler.
2. *Inspection*. Toutes les quelques secondes, l'opérateur, à l'aide d'une loupe, contrôle les progrès réalisés sur la facette polie.
3. *Ajustage du dop*. On procède à un ajustage angulaire de la tête du support du diamant (le dop).
4. *Modification de la position de la pierre*. Le passage d'une facette à l'autre s'effectue en faisant tourner le diamant dans les limites d'un angle prédéterminé. Il faut répéter ces quatre opérations 25 fois environ pour polir une facette du diamant. Le nombre de répétitions dépend de l'âge de l'opérateur, de la dureté et des caractéristiques de la pierre, du moment de la journée (fatigue de l'opérateur), etc.; chacune d'elles prend environ quatre secondes en moyenne. Gilad (1993) a étudié les micro-mouvements exécutés au cours du polissage.

Deux des opérations — polissage et inspection — s'effectuent dans des postures de travail relativement statiques, tandis que les actions appelées «main pour polir» et «main pour contrôler» exigent des mouvements courts et rapides de l'épaule, du coude et du poignet. La plupart des mouvements des deux mains sont effectués par flexion et extension du coude et pronation et supination du poignet. La posture du corps (dos et cou) et tous les autres mouvements, à part la déviation du poignet, varient relativement peu durant un travail normal. Le support de la pierre, constitué d'une barre d'acier de section carrée, est tenu de façon telle qu'il fait pression sur les vaisseaux sanguins et les os et peut, donc, provoquer une diminution du débit sanguin dans l'annulaire et l'auriculaire. La main droite tient la loupe durant tout le cycle de polissage, en exerçant une pression égale sur les trois premiers doigts. La plupart du temps, la main droite et la main gauche suivent des schémas de mouvement parallèles, alors que dans le mouvement «main pour polir», la main gauche guide et la main droite commence à bouger après un court instant; l'ordre est inversé dans le mouvement «main pour contrôler». Les tâches faisant appel à la main droite impliquent soit le maintien de la loupe en face de l'œil gauche (chargé du contrôle) tout en soutenant la main gauche par une flexion du coude, soit l'exercice d'une pression sur la tête du support de la pierre pour assurer un meilleur polissage (ce qui demande une extension du coude). Le positionnement et le maintien de la pierre sur la meule exigent de fortes accélérations et décélérations, ainsi qu'une grande dextérité manuelle. Il faut plusieurs années pour que les mouvements requis deviennent des réflexes.

Le polissage du diamant peut sembler à première vue une tâche relativement simple, mais il nécessite beaucoup de dextérité et d'expérience. Contrairement à toutes les autres industries, où les matériaux bruts sont transformés selon des spécifications précises, le diamant brut n'est pas homogène; chaque pierre, qu'elle soit petite ou grosse, doit être contrôlée, classée et traitée individuellement. Le polisseur doit non seulement posséder une grande adresse manuelle, mais encore prendre des décisions capitales à chaque étape du polissage. Après chaque inspection visuelle, il doit décider de la correction spatiale angulaire (selon trois dimensions), de l'intensité et de la durée de la pression à appliquer, du positionnement angulaire correct de la pierre et de son point de contact avec la meule. Plusieurs facteurs importants doivent être pris en considération, tous en l'espace de moins de 4 secondes en moyenne. Il est essentiel de bien appréhender ce processus de prise de décisions lorsqu'on procède à la conception ou au réaménagement d'un poste de polissage.

Avant d'en arriver à la phase où l'analyse des gestes peut permettre une meilleure conception ergonomique du poste considéré et la définition d'un cahier des charges satisfaisant, il faut bien

connaître les autres aspects d'un système utilisateur-machine unique en son genre. Alors que pratiquement tous les autres secteurs de l'activité économique n'ont cessé de subir des modifications technologiques portant non seulement sur les méthodes de production, mais également sur les produits eux-mêmes, l'industrie du diamant est restée virtuellement statique. Cette stabilité est due sans doute au fait que le produit est demeuré immuable au fil du temps et que son commerce n'a guère évolué. Les formes des diamants sont elles aussi restées pratiquement inchangées. Il n'y avait en effet aucune raison économique incitant à modifier le produit ou les méthodes utilisées. En outre, étant donné que la plupart des travaux de polissage sont effectués en sous-traitance par des artisans, l'industrie n'a pas eu de problème pour réguler la main-d'œuvre en adaptant le volume de travail aux fluctuations du marché. Aussi longtemps que les méthodes de travail ne changeront pas, le produit ne changera pas non plus. Ce n'est que lorsque des techniques plus perfectionnées et automatisées feront leur apparition dans l'industrie du diamant que l'on verra une plus grande variété de formes sur le marché. Il n'en reste pas moins qu'un diamant conserve toujours une valeur mythique qui le différencie des autres produits, et que cette valeur diminuerait s'il venait à être considéré comme un produit de grande consommation. Récemment, les pressions du marché et le développement de nouveaux centres de production, en Extrême-Orient notamment, sont venus concurrencer les centres européens établis de longue date. L'industrie s'est ainsi vue contrainte d'envisager de nouvelles méthodes de production et d'accorder davantage d'attention au facteur humain.

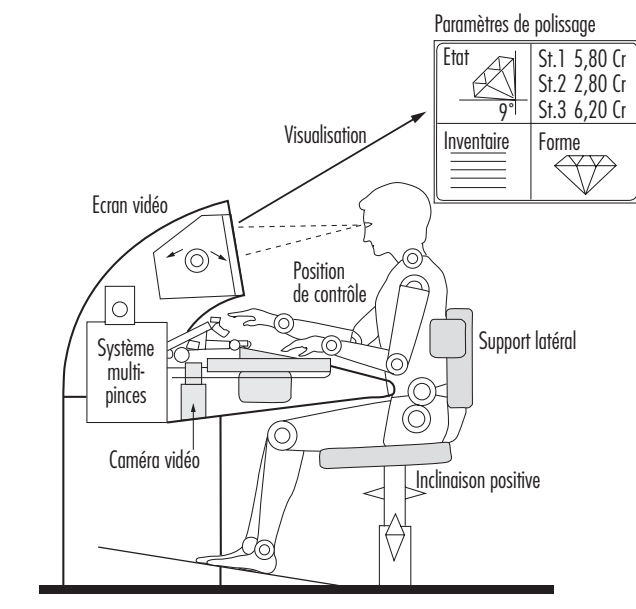
Si l'on veut améliorer le poste de polissage, il faut le considérer en tant que partie d'un système machine-utilisateur comportant trois paramètres: humain, technique et économique. La prise en compte des principes ergonomiques devrait permettre de concevoir une meilleure cellule de production au sens large du terme, c'est-à-dire un poste qui améliore le confort durant les longues heures de travail et qui assure une meilleure qualité des produits ainsi qu'un accroissement de la productivité. Deux approches différentes ont été tentées. La première implique une nouvelle conception des postes de travail existants, l'opérateur continuant à s'acquitter des mêmes tâches. La seconde consiste à étudier le poste de travail sans a priori en vue d'aboutir à une conception optimale tant pour le poste lui-même que pour les opérations à effectuer, ce qui devrait permettre de trouver des solutions intégrant les besoins humains, techniques et économiques de l'industrie.

À l'heure actuelle, c'est l'opérateur qui effectue la plupart des tâches faisant partie de l'étape de polissage. Le travail fait appel à l'adresse manuelle et à l'expérience; il s'agit d'un processus psychophysiologique complexe, partiellement conscient, procédant par tâtonnements, qui permet à un opérateur d'exécuter des opérations complexes et d'en prédire le résultat de manière assez précise. Les cycles de travail répétés impliquent chaque jour des milliers de mouvements identiques commandés par des automatismes pilotés par la mémoire motrice et exécutés avec une grande précision. Pour chacun de ces mouvements automatiques, de petites corrections sont effectuées en réponse au retour d'information fourni par les capteurs humains que sont les yeux et les détecteurs de pression. Quelle que soit la structure du futur poste de polissage des diamants, le travail restera soumis à un impératif incontournable: dans l'industrie du diamant, contrairement à la plupart des autres industries, la valeur relative de la matière première est très élevée. D'où l'importance de travailler la pierre brute de manière à obtenir, après la taille et le polissage, le diamant le plus gros possible. Cet objectif est primordial dans toutes les phases de façonnage des diamants.

Les quatre opérations répétitives «polissage», «main pour contrôler», «contrôler», «main pour polir» qui interviennent dans le

polissage peuvent être classées en trois catégories principales: tâches motrices, tâches visuelles et tâches de contrôle et de gestion comportant la prise de décisions. Gilad et Messer (1992) ont étudié les considérations entrant en ligne de compte dans la conception d'un poste de polissage ergonomique. La figure 29.52 présente une vue schématique d'une cellule de polissage réaménagée. Seules les grandes lignes de la construction sont présentées, car les détails relèvent du savoir-faire de la profession et ont un caractère confidentiel. Le terme de «cellule» est utilisé à dessein, car ce système machine-utilisateur repose sur une approche totalement différente. Outre les améliorations d'ordre ergonomique, il fait appel à des dispositifs mécaniques et opto-électroniques permettant de travailler trois à cinq pierres en même temps. Une partie des tâches visuelles de contrôle ont été confiées à des techniciens plutôt qu'à des artisans, tandis que la gestion de la cellule de production se fait grâce à une unité d'affichage qui fournit des informations instantanées sur la forme géométrique et le poids des pierres ainsi que sur les opérations complémentaires pouvant être requises pour obtenir une taille optimale. Une telle conception entraîne une modernisation du poste de travail de polissage par l'incorporation d'un système expert et d'un système de contrôle visuel pour remplacer l'œil humain dans toutes les tâches de routine. L'opérateur conserve la possibilité d'intervenir en tout temps pour modifier des paramètres et évaluer la performance de la machine. Le manipulateur mécanique et le système expert forment un processus en boucle fermée permettant d'effectuer l'ensemble des tâches de polissage, la manipulation des pierres, le contrôle de la qualité et la sanction finale demeurant l'apanage de l'opérateur. A un stade aussi avancé, on pourrait envisager le recours à des techniques de pointe comme un polisseur à laser. Actuellement, les lasers sont utilisés sur une grande échelle pour scier et tailler les diamants. L'utilisation de techniques sophistiquées permettra de modifier radicalement la nature des interventions humaines. Les besoins en polisseurs expérimentés devraient diminuer; ceux-ci ne seraient chargés, en fin de compte, que du polissage des gros diamants de très grande valeur et, probablement, du contrôle de la qualité.

Figure 29.52 • Représentation schématique d'un poste de polissage de diamants



TCHERNOBYL, OU LA MÉCONNAISSANCE DES PRINCIPES DE CONCEPTION ERGONOMIQUE

Vladimir M. Munipov

Diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer la catastrophe de Tchernobyl en 1986: on a incriminé le personnel d'exploitation, la direction de l'usine, la conception du réacteur et le manque d'informations pertinentes sur la sûreté dans l'industrie nucléaire soviétique. Le présent article considère un certain nombre de défauts de conception, de déficiences opérationnelles et d'erreurs humaines qui se sont conjugués dans l'accident. Il examine la séquence des événements qui ont conduit à la catastrophe, les problèmes soulevés par la conception du réacteur et des barres de refroidissement et le déroulement de l'accident lui-même. Il s'attache aux aspects ergonomiques en partant du principe que l'accident est surtout dû à l'inadéquation de l'interface opérateur-machine. Enfin, il souligne les carences qui persistent et insiste sur le fait que, si l'on ne tire pas parti des enseignements recueillis sur le plan ergonomique, une autre catastrophe du même genre pourrait fort bien se produire.

Toute la lumière n'a pas encore été faite sur la catastrophe de Tchernobyl. Il ne faut pas se leurrer: la vérité est encore dissimulée par les réticences de ceux qui veulent se protéger, les demi-vérités, le secret et même les contre-vérités. Une étude complète des causes de l'accident apparaît comme une tâche bien difficile. Le principal problème auquel se heurtent les enquêteurs est la nécessité de reconstituer l'accident et d'établir le rôle des facteurs humains à partir de très minces éléments d'information qui ont été divulgués. La catastrophe de Tchernobyl est plus qu'un grave accident technique: ses causes tiennent en partie à l'administration et à la bureaucratie. L'objet principal du présent article est d'examiner la combinaison de défauts de conception, de déficiences opérationnelles et d'erreurs humaines qui a abouti à l'accident de Tchernobyl.

Qui faut-il blâmer?

En 1989, le responsable de la conception des réacteurs à eau bouillante de grande puissance employant des tubes à haute pression de type RBMK utilisés dans la centrale nucléaire de Tchernobyl a présenté son point de vue sur les causes de l'accident. Il a attribué la catastrophe au fait que le personnel n'avait pas respecté les procédures correctes de la «discipline de production». Il a fait valoir que les juristes étaient arrivés à la même conclusion après leurs investigations. Selon lui, «la faute est à imputer au personnel plutôt qu'à des carences de conception ou de réalisation». Le responsable de la recherche pour le développement des réacteurs RBMK a corroboré ce point de vue. La possibilité que des carences de nature ergonomique aient pu contribuer à la catastrophe n'a pas été évoquée.

Les opérateurs quant à eux ont exprimé une opinion différente. Alors qu'il se mourait sur son lit d'hôpital, le chef de quart de la quatrième unité, A.F. Akimov, irradié par une dose de 1 500 rads (R) absorbée en un court laps de temps lors de l'accident, n'a cessé de répéter à ses parents qu'il avait bien agi et qu'il n'arrivait pas à comprendre comment la situation avait pu en arriver là. Ses déclarations traduisaient une confiance absolue dans un réacteur réputé totalement sûr. Akimov a ajouté qu'il n'avait rien à reprocher à son équipe. Les autres opérateurs étaient persuadés eux aussi que leurs interventions avaient été conformes aux règles; ils n'ont fait mention à aucun moment d'une explosion (notons que c'est seulement après l'accident de Tchernobyl que la possibilité

d'un comportement dangereux du réacteur dans certaines conditions a été mentionnée dans les règles de sécurité). Cependant, un fait éloquent, au vu des problèmes de conception révélés par la suite, est que les opérateurs n'ont pas compris pourquoi la descente des barres dans le cœur du réacteur avait causé une si terrible explosion, au lieu d'interrompre immédiatement la réaction nucléaire, comme elle aurait dû le faire. En d'autres termes, les opérateurs avaient agi correctement, en se conformant aux instructions de maintenance et au modèle de réacteur qu'ils avaient à l'esprit, mais l'installation telle qu'elle avait été conçue ne correspondait pas à ce modèle.

Six personnes, appartenant toutes aux cadres de l'usine, ont été condamnées, au vu des pertes en vies humaines, pour avoir violé les règles de sécurité relatives aux installations potentiellement explosives. Le président du tribunal a certes fait allusion à la poursuite de l'enquête et à «ceux qui n'avaient pas pris des mesures pour améliorer la conception de la centrale». Il a également évoqué la responsabilité des officiels, des autorités locales et des services de santé, mais, en réalité, il était clair que le dossier était clos. Personne d'autre n'a été déclaré responsable de la plus grande catastrophe de l'histoire du nucléaire.

Il est toutefois essentiel que tous les facteurs qui se sont conjugués pour aboutir à cette catastrophe soient étudiés afin d'en tirer les leçons indispensables pour la sûreté du fonctionnement futur des centrales nucléaires.

Le rôle du secret et le monopole de l'information dans la recherche et l'industrie

La défaillance de la relation opérateur-machine qui a entraîné «Tchernobyl 86» peut être attribuée dans une certaine mesure à la politique du secret et au monopole de l'information qui ont régi la communication technologique au sein de l'establishment soviétique de l'énergie nucléaire. Un petit groupe de scientifiques et de chercheurs jouissaient seuls du droit absolu de définir les principes et les procédures de base en matière d'énergie nucléaire, et leur monopole était protégé par la politique du secret d'Etat. De ce fait, les assurances données par les scientifiques soviétiques sur la sûreté absolue des centrales nucléaires ne furent jamais mises en cause pendant 35 ans; le secret masquait en réalité l'incompétence des responsables du nucléaire civil. Incidemment, on a appris récemment que ce secret s'étendait également aux informations relatives à l'accident de Three Mile Island; le personnel d'exploitation des centrales nucléaires soviétiques n'avait pas été pleinement informé sur cet accident: seuls quelques éléments d'information bien choisis, et qui ne contredisaient pas le point de vue officiel sur la sécurité des centrales nucléaires, furent divulgués. Un rapport sur les aspects ergonomiques de l'accident de Three Mile Island, présenté par l'auteur en 1985, ne fut pas communiqué aux personnes concernées par la sûreté et la fiabilité des centrales nucléaires.

Aucun accident de centrale nucléaire soviétique n'a jamais été rendu public, à l'exception de ceux survenus en Arménie et à Tchernobyl (en 1982), qui firent l'objet de quelques lignes dans la *Pravda*. En cachant la situation réelle et en négligeant ainsi de tirer profit des enseignements de ces accidents, les responsables de l'industrie nucléaire s'exposaient inévitablement à l'accident de Tchernobyl en 1986, éventualité qui s'annonçait d'autant plus aisément qu'on se faisait une idée simpliste du rôle des opérateurs et que les risques d'exploitation des centrales nucléaires étaient sous-estimés.

Comme l'a déclaré en 1990 un membre du Comité officiel d'experts sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl: «Pour ne plus nous tromper, nous devons admettre toutes nos erreurs et les analyser. Il est indispensable de déterminer quelles erreurs étaient dues à notre inexpérience et quelles autres étaient en réalité une tentative délibérée de cacher la vérité».

L'accident de Tchernobyl en 1986

La mauvaise planification du test

Le 25 avril 1986, la quatrième unité de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Tchernobyl 4) était en cours de préparation pour une opération normale de maintenance. Il avait été prévu d'arrêter l'unité et de procéder à un test avec les systèmes de sécurité privés de leurs sources normales d'énergie. Cet essai aurait dû être effectué *avant* la mise en service initiale de Tchernobyl 4. Cependant, le Comité d'Etat était si pressé d'exploiter l'unité qu'il avait décidé de remettre à plus tard certains tests jugés «sans importance». Le certificat de réception fut donc signé fin 1982. L'ingénieur en chef adjoint agissait conformément au plan initial qui prévoyait un test sur une unité totalement désactivée; il avait établi la planification et le déroulement du test sur la base de cette hypothèse implicite. Le test ne fut en aucune manière effectué à son initiative.

Le programme de test fut approuvé par l'ingénieur en chef. Les alimentations électriques devaient être fournies durant le test par l'énergie résiduelle du rotor de la turbine (tournant sur son inertie). En effet, aussi longtemps qu'il tourne, le rotor fournit de l'électricité qui peut être utilisée en cas d'urgence. La perte totale de courant dans une centrale nucléaire entraîne l'arrêt de tous les mécanismes, y compris des pompes qui assurent la circulation du réfrigérant dans le cœur du réacteur; si celui-ci n'est pas refroidi, il entre en fusion et provoque un accident grave. L'expérience visait à tester la possibilité d'utiliser un autre moyen — la rotation de la turbine sous l'effet de son inertie — pour produire de l'énergie. Il n'est pas interdit de procéder à des essais de ce genre dans des centrales en fonctionnement pour autant qu'une procédure adéquate ait été mise au point et que des précautions spéciales de sécurité aient été prises. Il convient notamment de prévoir une source d'alimentation de secours pendant toute la durée du test. En d'autres termes, la perte de l'alimentation doit être seulement implicite et jamais réelle. Le test ne doit avoir lieu qu'après la mise à l'arrêt du réacteur, c'est-à-dire après avoir actionné la commande d'arrêt d'urgence et abaissé les barres de refroidissement dans le cœur du réacteur. Avant cela, le réacteur doit être dans un régime stable sous contrôle offrant une marge de réactivité spécifiée dans le processus opératoire, c'est-à-dire avec au moins 28 à 30 barres descendues.

Le programme approuvé par l'ingénieur en chef de la centrale de Tchernobyl ne répondait à aucune de ces exigences. En outre, il prévoyait la fermeture du système de refroidissement de secours du cœur (SRSC), compromettant ainsi la sécurité de la centrale pendant toute la durée du test (environ 4 heures). Lors de l'élaboration du programme, les responsables avaient pris en compte l'éventualité d'un déclenchement du SRSC, éventualité qui les aurait empêchés d'exécuter le test de rotation inertielle. La méthode de purge n'était pas spécifiée dans le programme puisque la turbine n'avait plus besoin de vapeur. De toute évidence, les personnes impliquées étaient totalement ignorantes du comportement physique des réacteurs. Il est certain qu'il y avait aussi des personnes non qualifiées parmi les responsables de l'industrie nucléaire, ce qui expliquerait pourquoi elles n'ont émis aucun commentaire lorsque le programme fut soumis à l'approbation des autorités compétentes en janvier 1986. Le fait que l'on ait pu sous-estimer les risques ne saurait être exclu. La politique du secret entourant la technologie nucléaire avait donné le sentiment que les centrales nucléaires étaient sûres et fiables et qu'elles fonctionnaient sans accident. L'absence d'une réponse officielle au programme des tests n'alerta cependant pas le directeur de la centrale de Tchernobyl sur la possibilité d'un danger. Il décida de procéder au test en utilisant le programme non certifié, bien que cela fût interdit.

Le changement dans le programme du test

Durant l'exécution du test, le personnel a enfreint le programme lui-même, créant ainsi des risques accrus d'accident. Le personnel de Tchernobyl a commis six erreurs et infractions grossières. Selon le programme établi, le SRSC devait être rendu inopérant, ce qui était une faute des plus graves et des plus fatales. Les vannes de commande d'alimentation en eau avaient été préalablement fermées et verrouillées pour qu'il soit impossible de les ouvrir même manuellement. Le refroidissement d'urgence avait été délibérément mis hors service afin de prévenir un éventuel choc thermique suite à l'entrée d'eau froide dans le cœur chaud. Cette décision était fondée sur la ferme conviction que le réacteur tiendrait. Cette foi dans le réacteur était renforcée par les dix années où la centrale avait fonctionné pratiquement sans problème. Même l'alerte grave de la fusion partielle du cœur dans la première tranche de Tchernobyl, en 1982, fut ignorée.

Le programme initial prévoyait que le test de rotation inertielle du rotor se ferait à un niveau de puissance de 700 à 1 000 MW_{th} (mégawatts de puissance thermique), avec le réacteur à l'arrêt. Malheureusement, c'est la solution inverse qui a été choisie, puisqu'il a été décidé de procéder au test avec le réacteur encore en fonctionnement. Ce choix, qui devait se révéler désastreux, visait à assurer la «pureté» de l'expérience.

Il est parfois nécessaire, dans certaines conditions de fonctionnement, d'ajuster ou d'arrêter un système local commandant des groupes de barres de contrôle. Lorsqu'un système local fut arrêté (la marche à suivre est spécifiée dans la procédure de fonctionnement à basse puissance), l'ingénieur en chef chargé du pilotage du réacteur tarda à corriger le déséquilibre introduit dans le système de commande. De ce fait, la puissance chuta au-dessous de 30 MW_{th}, ce qui entraîna l'empoisonnement du réacteur par des produits de fission (xénon et iode). Dans un cas de ce genre, il est quasiment impossible de rétablir les conditions normales sans interrompre l'essai et sans attendre un jour jusqu'à ce que l'empoisonnement soit éliminé. Or, l'ingénieur en chef adjoint de l'exploitation a refusé d'interrompre l'essai et a contraint, en les harcelant verbalement, les opérateurs de la salle de contrôle à augmenter la puissance (qui avait été stabilisée à 200 MW_{th}). Le processus d'empoisonnement du réacteur s'est alors poursuivi sans qu'il soit possible de faire remonter la puissance du fait de la faible marge de réactivité offerte avec 30 barres seulement pour un réacteur de grande puissance à tubes à haute pression (RBMK). Le réacteur est devenu pratiquement incontrôlable et potentiellement explosif parce que, en voulant stopper l'empoisonnement, les opérateurs avaient retiré plusieurs barres nécessaires au maintien de la marge de sécurité de la réactivité. Or, dans ces conditions, le système d'arrêt d'urgence ne pouvait plus remplir son rôle. Il fut néanmoins décidé de poursuivre l'essai, les opérateurs ayant de toute évidence envie d'en finir au plus vite.

Les problèmes dus à une conception erronée du réacteur et des barres de contrôle

Pour faire mieux comprendre les causes de l'accident, il est nécessaire de souligner les déficiences majeures qui existaient dans la conception des barres d'absorption du système de contrôle et de l'arrêt d'urgence. La hauteur du cœur est de 7 m, tandis que les barres ont une longueur absorbante de 5 m, encadrée par des parties creuses de 1 m à chaque extrémité. Les extrémités inférieures des barres d'absorption, qui passent sous le cœur lorsqu'elles sont descendues à fond, sont remplies de graphite. Avec une telle conception, lorsque les barres de contrôle sont descendues, il y a d'abord 1 m de partie creuse qui pénètre dans le cœur avant que la partie absorbante ne soit insérée. A Tchernobyl 4, il y avait en tout 211 barres de contrôle, dont 205 étaient entièrement retirées. La réintroduction simultanée d'un si grand nombre de barres entraîne dans un premier temps une accéléra-

tion transitoire de la réactivité (un pic dans l'activité de fission), étant donné que ce sont d'abord les extrémités remplies de graphite et les parties creuses qui pénètrent dans le cœur. Dans un réacteur stable, sous contrôle, un tel pic n'a rien de préoccupant mais, dans une combinaison de conditions défavorables, le regain d'activité peut se révéler fatal, car il conduit à un emballement du réacteur sous l'effet de l'augmentation instantanée de l'activité neutronique. La cause immédiate de cet accroissement de la réactivité initiale a été l'entrée en ébullition de l'eau dans le cœur. Cet accroissement traduisait une faiblesse particulière: un coefficient de cavitation positif de la vapeur résultant de la conception du cœur. Ce défaut de conception est l'une des fautes à l'origine des erreurs des opérateurs.

De graves défauts de conception dans le réacteur et les barres de contrôle ont en fait concouru à l'accident de Tchernobyl. En 1975, après l'accident de la centrale de Leningrad et par la suite, les spécialistes ont signalé le risque d'un autre accident au vu des défauts de conception du cœur. Six mois avant le désastre de Tchernobyl, un inspecteur de la sûreté à la centrale de Koursk avait envoyé une lettre à Moscou dans laquelle il attirait l'attention des responsables de la recherche et des études sur certaines insuffisances dans la conception du réacteur et des barres du système de protection et de contrôle. Le Comité de surveillance de l'Etat pour l'énergie nucléaire a estimé que ces arguments étaient sans fondement.

Le déroulement de l'accident lui-même

Les événements se sont déroulés de la manière suivante. Du fait du phénomène de cavitation dans la pompe de refroidissement du réacteur, le débit dans le cœur a baissé et le réfrigérant s'est mis à bouillir dans les tubes à haute pression. A ce moment précis, le chef de quart a appuyé sur la commande d'arrêt d'urgence, faisant ainsi plonger toutes les barres de contrôle (qui avaient été extraites) et les barres de sécurité dans le cœur du réacteur. Les premières parties à pénétrer dans le cœur furent les extrémités en graphite et les parties creuses des barres, qui provoquèrent un accroissement de la réactivité au moment même où l'on assistait à une production intense de vapeur. L'élévation de la température du cœur accéléra le processus. Il y a donc eu conjonction de trois conditions défavorables pour le cœur. Le réacteur s'est immédiatement emballé, en raison principalement de défauts grossiers dans la conception des réacteurs de type RBMK. Il faut rappeler que le SRCS avait été rendu inopérant, verrouillé et plombé.

La suite est bien connue. Le réacteur a été endommagé. La majeure partie du combustible, du graphite et des autres composants du cœur a été projetée à l'extérieur. Le niveau de rayonnement au voisinage de l'unité endommagée a atteint 1 000 à 15 000 R/h, des niveaux nettement inférieurs ayant toutefois été enregistrés en certains endroits plus distants ou abrités.

Au début, le personnel n'a pas réalisé ce qui était arrivé et ne pouvait que répéter «C'est impossible! Tout a été fait dans les règles».

Les considérations ergonomiques relatives au rapport soviétique sur l'accident

Le rapport présenté par la délégation soviétique à la réunion de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) au cours de l'été 1986 donnait évidemment des informations exactes sur l'explosion de Tchernobyl, mais, aujourd'hui encore on peut se demander s'il mettait bien l'accent là où il le fallait et s'il ne traitait pas les faiblesses de conception à la légère. D'après ce rapport, le personnel voulait terminer l'essai le plus vite possible. Considérant qu'ils ont enfreint la procédure de préparation et d'exécution des essais, qu'ils ont agi contrairement au programme d'essai lui-même et qu'ils ont manqué de prudence dans les opérations de contrôle du réacteur, il semblerait que les opérateurs

n'étaient pas totalement conscients des processus qui se déroulaient dans le réacteur et avaient perdu tout sens du danger. Selon le rapport:

Les concepteurs du réacteur n'avaient pas prévu de systèmes de sécurité destinés à prévenir les accidents dans le cas d'une mise à l'arrêt délibérée des dispositifs de sûreté; dans le même temps, ils ont manifesté un non-respect des procédures opératoires, car ils considéraient cette combinaison comme improbable. La cause initiale de l'accident a donc été une inimaginable violation des procédures opératoires par le personnel de la centrale.

On a appris que la version initiale du rapport contenait après les mots «par le personnel de la centrale», le passage suivant: «ce qui montre qu'il y avait des défauts de conception du réacteur et des barres du système de protection et de contrôle».

Les concepteurs avaient exclu la possibilité que des «apprentis sorciers» puissent manipuler le système de commande de la centrale et n'avaient donc mis au point aucun mécanisme de sûreté intégré. Compte tenu du passage du rapport selon lequel les concepteurs jugeaient improbable la combinaison d'événements qui s'était effectivement produite, certaines questions se posent: les concepteurs avaient-ils envisagé toutes les situations possibles associées à l'activité humaine dans l'usine? Si oui, comment celles-ci avaient-elles été prises en compte dans la conception de la centrale? Malheureusement, la réponse à la première question est négative et des zones d'interaction opérateur-machine restent indéterminées. De ce fait, c'est sur la base d'un algorithme de contrôle primitif qu'étaient dispensées la formation aux situations d'urgence sur site et la formation théorique et pratique.

La conception des systèmes de commande assistés par ordinateur et des salles de contrôle des centrales nucléaires ne tenait pas compte des principes ergonomiques. On peut citer un exemple particulièrement grave: celui de l'affichage d'un paramètre essentiel de l'état du cœur, à savoir le nombre de barres de contrôle et de sécurité dans le cœur du réacteur. Ce paramètre était inscrit sur le tableau de contrôle de Tchernobyl 4 d'une manière inadaptée à la perception et à la compréhension. Seule l'expérience des opérateurs à interpréter les indications affichées permettait de surmonter cette carence.

Des erreurs de calcul et la méconnaissance des facteurs humains ont eu pour effet de créer une bombe à retardement. Il faut souligner que la conception défectueuse du cœur et du système de contrôle a constitué une base fatale pour les erreurs commises ultérieurement par les opérateurs. Aussi, la cause principale de l'accident doit être attribuée à une conception inadéquate de l'interface opérateur-machine. Les enquêteurs ont appelé au «respect de l'ergonomie et de l'interface opérateur-machine; c'est la leçon que Tchernobyl nous apporte». Malheureusement, il est difficile de se défaire des vieilles approches et des schèmes de pensée stéréotypés.

Dès 1976, l'académicien P.L. Kapitza semblait pressentir un désastre pour des raisons qui auraient pu être pertinentes pour prévenir un Tchernobyl, mais ses craintes ne furent rendues publiques qu'en 1989. En février 1976, l'hebdomadaire *US News and World Report* publiait un rapport sur l'incendie qui s'était déclaré sur le site nucléaire de Browns Ferry, en Californie. Kapitza avait été si troublé par cet accident qu'il en fit mention dans le rapport sur l'énergie et les problèmes à l'échelle mondiale qu'il présenta à Stockholm, en mai 1976, sous le titre «Global problems and energy». Kapitza indiquait notamment:

Cet accident met en lumière l'inadéquation des méthodes mathématiques utilisées pour calculer la probabilité de tels événements, étant donné qu'elles ne tiennent pas compte du risque d'erreurs humaines. Pour résoudre ce problème, il

faut prévoir des mesures visant à empêcher qu'un accident nucléaire ne prenne un cours catastrophique.

Kapitza voulait publier son rapport dans le magazine *Nauka i Zhizn (Science et Vie)*, mais cette autorisation lui fut refusée pour la raison qu'il ne fallait pas «effrayer la population». La revue suédoise *Ambio* lui avait demandé de pouvoir publier son article, mais elle ne l'a jamais fait.

L'Académie des sciences affirma à Kapitza que de tels accidents ne pouvaient pas se produire en URSS et, comme «preuve» définitive, lui transmit les Règles de sécurité des centrales nucléaires, qui venaient d'être publiées. Ces règles contenaient la disposition suivante: «8.1. Les actions du personnel en cas d'accident nucléaire sont déterminées par la procédure prévue pour traiter les conséquences de l'accident!».

L'après-Tchernobyl

Conséquence directe ou indirecte de l'accident de Tchernobyl, des mesures sont en voie d'élaboration et d'application pour assurer la sûreté de fonctionnement des centrales nucléaires existantes et améliorer la conception et la réalisation des centrales futures. En particulier, des mesures ont été prises pour rendre le système d'arrêt d'urgence plus rapide et exclure la possibilité qu'il soit délibérément mis hors d'usage par le personnel. La conception des barres de contrôle a été modifiée, et leur nombre augmenté.

En outre, alors que les instructions relatives aux conditions anormales en vigueur avant Tchernobyl stipulaient que le réacteur devait rester en fonctionnement, la procédure actuelle demande qu'il soit arrêté. Les nouveaux réacteurs devraient avoir, de par leur construction, une sûreté de fonctionnement intégrée. De nouveaux domaines de recherche, ignorés ou inexistant avant Tchernobyl, sont apparus; citons notamment les analyses des probabilités d'incidents et les tests sur banc d'essai.

Cependant, selon l'ancien ministre de l'Énergie nucléaire et de l'Industrie de l'ex-URSS, V. Konovalov, le nombre des défaillances, des arrêts non programmés et des incidents demeure élevé. Les études montrent que cette situation est due principalement à la mauvaise qualité des composants livrés, aux erreurs humaines et aux solutions inadéquates retenues par les bureaux d'études. La qualité des travaux de construction et d'installation laisse, elle aussi, beaucoup à désirer.

Les modifications et reprises de conception sont devenues pratique courante. De ce fait, et en raison aussi d'une formation insuffisante, les qualifications des agents d'exploitation ne sont pas satisfaisantes. Ce personnel doit améliorer ses connaissances et ses compétences sur le tas, en s'appuyant sur l'expérience acquise dans la conduite de la centrale.

Les leçons qui restent à tirer sur le plan de l'ergonomie

Un système de contrôle de la sécurité, aussi efficace et élaboré soit-il, ne pourra assurer à lui seul la fiabilité d'une installation: les facteurs humains doivent eux aussi être pris en compte. L'Institut scientifique et de recherche sur les centrales nucléaires de l'ancienne Union soviétique étudie la formation professionnelle à dispenser aux personnels de ces installations et compte donner une forte impulsion à cet effort. Il faut cependant reconnaître que l'ergonomie n'est pas encore totalement intégrée aux activités de conception, de construction, d'essai et d'exploitation des centrales nucléaires.

En réponse à une enquête officielle, l'ancien ministre de l'Énergie nucléaire et de l'Industrie de l'ex-URSS disait en 1988 que, pour la période de 1990 à 2000, il n'y avait pas besoin de spécialistes en ergonomie de niveau secondaire et supérieur, car il n'y avait pas de demandes en ce sens émanant des entreprises et centrales nucléaires.

La résolution d'une grande partie des problèmes soulevés dans le présent article exige des travaux combinant recherche et développement, avec la participation de physiciens, de concepteurs, d'ingénieurs, de personnels d'exploitation et de spécialistes en ergonomie, psychologie et autres disciplines. L'organisation d'un tel effort conjoint présente de grandes difficultés; deux d'entre elles, particulièrement critiques, ont trait au maintien du monopole de certains scientifiques et groupes de scientifiques sur la «vérité» en matière d'énergie nucléaire, et du monopole des personnels d'exploitation sur les informations relatives au fonctionnement des centrales nucléaires. Sans l'accès à une information exhaustive, il est impossible de poser un diagnostic ergonomique sur une centrale nucléaire et de proposer, au besoin, des moyens d'éliminer les déficiences et de mettre sur pied un ensemble de mesures en vue de prévenir les accidents.

Les moyens dont disposent aujourd'hui les centrales nucléaires de l'ex-URSS en matière de diagnostic, de contrôle et d'informatisation sont encore loin des normes internationales reconnues: leurs méthodes d'exploitation sont inutilement complexes et confuses, il n'existe pas de programme avancé pour la formation du personnel, les concepteurs s'impliquent très peu au niveau de l'exploitation et les manuels d'opération sont présentés sous une forme particulièrement désuète.

Conclusion

En septembre 1990, suite à des enquêtes plus poussées, deux anciens agents d'exploitation de Tchernobyl ont été libérés avant la fin de leur peine. Quelque temps après, tous les autres ont bénéficié d'une libération anticipée. Nombreux sont ceux qui, parmi les personnes impliquées dans la fiabilité et la sûreté des centrales nucléaires, estiment aujourd'hui que le personnel de Tchernobyl a bien agi à l'époque, même si ses décisions ont abouti à une explosion. Il ne saurait être tenu pour responsable de l'ampleur imprévue de l'accident.

Pour déterminer les responsabilités dans la catastrophe, le tribunal s'est fondé essentiellement sur l'avis des spécialistes techniques qui, en l'occurrence, étaient les concepteurs de la centrale. D'où une leçon encore plus importante à tirer de Tchernobyl: aussi longtemps que le principal document invoqué par les juristes pour établir les responsabilités dans les catastrophes survenant dans des installations aussi complexes qu'une centrale nucléaire consistera en instructions de service établies et modifiées exclusivement par les concepteurs des installations incriminées, il sera techniquement très difficile de trouver les causes réelles des catastrophes et de prendre toutes les précautions nécessaires pour en éviter le retour.

Il reste en outre la question de savoir si le personnel d'exploitation doit se conformer strictement aux instructions en cas de catastrophe ou s'il doit agir en faisant appel à ses connaissances, son expérience et son intuition, ce qui pourrait l'amener à contrevenir aux consignes établies ou à s'exposer inconsciemment à la menace de sanctions graves.

Il faut malheureusement reconnaître que la question «Qui est coupable de l'accident de Tchernobyl?» n'a pas encore trouvé de réponse. Les responsables doivent être recherchés parmi les politiques, les physiciens, les fonctionnaires et les opérateurs, ainsi que parmi les ingénieurs des bureaux d'études. Condamner de simples lampistes, comme dans le cas de Tchernobyl, ou faire bénir les centrales nucléaires par des prêtres — comme ce fut le cas en 1991 pour le site de Smolensk, qui connaissait des incidents à répétition — ne sont pas des mesures propres à assurer la sûreté et la fiabilité de fonctionnement des centrales nucléaires.

Ceux qui considèrent que la catastrophe de Tchernobyl ne fut qu'une nuisance malheureuse qui ne se reproduira jamais doivent réaliser que tout être humain commet des erreurs — non seulement les agents d'exploitation, mais aussi les scientifiques et les ingénieurs. La méconnaissance ou l'ignorance délibérée des principes ergonomiques dans les interactions opérateur-machine expose à de graves erreurs.

Les installations techniques telles que les centrales nucléaires doivent être conçues pour que leurs éventuelles défaillances soient découvertes avant qu'un accident grave ne survienne. De nombreux principes ergonomiques sont en réalité le fruit de recherches faites en vue de prévenir les erreurs, par exemple dans la conception des dispositifs d'affichage et de commande. Il n'en reste pas moins qu'aujourd'hui encore, ces principes sont trop souvent ignorés dans le monde entier.

Le personnel chargé de l'exploitation d'installations complexes doit être hautement qualifié, non seulement pour les opérations de routine, mais également pour les procédures à appliquer en cas d'anomalies. Une solide connaissance de la physique et des techniques appliquées aidera le personnel à mieux réagir dans des situations critiques. Les qualifications indispensables ne peuvent être acquises que par une formation intensive.

Les améliorations apportées sans cesse aux interfaces opérateur-machine dans toutes sortes d'applications techniques, souvent à la suite d'accidents mineurs ou majeurs, montrent que le problème des erreurs humaines est loin d'être résolu. Il est nécessaire de poursuivre les recherches et de mettre en pratique les résultats obtenus en vue de fiabiliser les interactions opérateur-machine, spécialement lorsqu'il s'agit de technologies à pouvoir élevé de destruction comme l'énergie nucléaire. Tchernobyl est un sévère avertissement de ce qui peut arriver si les personnes concernées (scientifiques, ingénieurs, fonctionnaires, responsables politiques, etc.) négligent d'inclure l'ergonomie dans les processus de conception et de conduite d'installations techniques complexes. Hans Blix, directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique, a mis l'accent sur ce problème en adaptant la citation célèbre selon laquelle la guerre est une chose trop sérieuse pour être laissée aux seuls généraux et en déclarant: «les problèmes de l'énergie nucléaire sont bien trop sérieux pour les abandonner aux seuls experts nucléaires».

Références bibliographiques

- Abeysekera, J.D.A., Shahnavaz, H. et Chapman, L.J., 1990: «Ergonomics in developing countries», dans B. Das (directeur de publication): *Advances in Industrial Ergonomics and Safety* (Londres, Taylor and Francis).
- Ahonen, M., Launis, M. et Kuorinka, T. (directeurs de publication), 1989: *Ergonomic Workplace Analysis* (Helsinki, Finnish Institute of Occupational Health).
- Alvares, C., 1980: *Homo Faber: Technology and Culture in India, China and the West from 1500 to Present Day* (La Haye, Martinus Nijhoff).
- Amalberti, R., 1991: «Savoir-faire de l'opérateur: aspects théoriques et pratiques en ergonomie», dans R. Amalberti, M. de Montmolin et J. Théreau (directeurs de publication): *Modèles et pratiques de l'analyse du travail* (Liège, Mardaga).
- Amalberti, R., Bataille, M., Deblon, G., Guengant, A., Paquay, J.M., Valot, C. et Menu, J.P., 1989: *Développement d'aides intelligentes au pilotage: formalisation psychologique et informatique d'un modèle de comportement du pilotage de combat engagé en mission de pénétration*, Rapport CERMA (Paris).
- Association internationale de la sécurité sociale (AISS), 1991: *Beurteilungsliste zum Klassifizieren von Maschinen nach ergonomischen Grundsätzen*, Internationale Sektion Maschinensicherheit der IVSS, Mannheim.
- Åstrand, I., 1960: «Acrobic work capacity in men and women with special reference to age», *Acta Physiologica Scandinavica*, vol. 49, supplément n° 169, pp. 1-92.
- Bainbridge, L., 1981: «Le contrôleur de processus», *Bulletin de psychologie*, vol. XXXIV, pp. 813-832.
- , 1986: «Asking questions and accessing knowledge», *Future Computing Systems*, vol. 1, pp. 143-149.
- Baitsch, C., 1985: *Kompetenzentwicklung und partizipative Arbeitsgestaltung* (Berne, Huber).
- Banks, M.H. et Miller, R.L., 1984: «Reliability and convergent validity of the job component inventory», *Journal of Occupational Psychology*, vol. 57, pp. 181-184.
- Baranson, J., 1969: *Industrial Technology for Developing Economies* (New York, Praeger).
- Bartenwerfer, H., 1970: «Psychische Beanspruchung und Ermüdung», dans A. Mayer et B. Hervig (directeurs de publication): *Handbuch der Psychologie* (Göttingen, Hogrefe).
- Bartlem, C.S. et Locke, E.A., 1981: «The Coch and French study: A critique and reinterpretation», *Human Relations*, vol. 34, pp. 555-566.
- Blumberg, M., 1988: «Towards a new theory of job design», dans W. Karwowski, H.R. Parsaei et M.R. Wilhelm (directeurs de publication): *Ergonomics of Hybrid Automated Systems* (Amsterdam, Elsevier).
- Bourdon, F. et Weill Fassina, A., 1994: «Réseau et processus de coopération dans la gestion du trafic ferroviaire», *Le travail humain*, vol. 57, n° 3.
- Brehmer, B., 1990: «Towards a taxonomy for micro-worlds», dans B. Brehmer, M. de Montmolin et J. Leplat (directeurs de publication): «Taxonomy for an Analysis of Work Domains», *Proceedings of the First MOHAWC Workshop* (Roskilde, Riso National Laboratory).
- Brown, D.A. et Mitchell, R., 1986: *The Pocket Ergonomist* (Sydney, Group Occupational Health Centre).
- Bruder, 1993: *Entwicklung eines wissenschaftlichen Systems zur belastungsanalytisch unterscheidbaren Erholungszeit* (Düsseldorf, VDI-Verlag).
- Bureau international du Travail (BIT), 1984: «La protection des travailleurs contre le bruit et les vibrations sur les lieux de travail», *Recueil de directives pratiques* (Genève).
- , 1990: «Le temps que nous consacrons au travail: nouveaux horaires de travail en théorie et en pratique», *Conditions of Work Digest*, vol. 9, n° 2.
- Campion, M.A., 1988: «Interdisciplinary approaches to job design: A constructive replication with extensions», *Journal of Applied Psychology*, vol. 73, pp. 467-481.
- Campion, M.A. et Thayer, P.W., 1985: «Development and field evaluation of an inter-disciplinary measure of job design», *ibid.*, vol. 70, pp. 29-43.
- Carter, R.C. et Biersner, R.J., 1987: «Job requirements derived from the Position Analysis: Questionnaire and validity using military aptitude test scores», *Journal of Occupational Psychology*, vol. 60, pp. 311-321.
- Caverni, J.P., 1988: «La verbalisation comme source d'observables pour l'étude du fonctionnement cognitif», dans J.P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelson et G. Tiberghien (directeurs de publication): *Psychologie cognitive: modèles et méthodes* (Grenoble, Presses universitaires de Grenoble).
- Chaffin, D.B., 1969: «A computerized biomechanical model — development of and use in studying gross body actions», *Journal of Biomechanics*, vol. 2, pp. 429-441.
- Chaffin, D.B. et Andersson, G., 1984: *Occupational Biomechanics* (New York, Wiley).
- Chapanis, A., 1975: *Ethnic Variables in Human Factors Engineering* (Baltimore, Johns Hopkins University).
- Coch, L. et French, J.R.P., 1948: «Overcoming resistance to change», *Human Relations*, vol. 1, pp. 512-532.
- Comité européen de normalisation (CEN), 1990: *Principes ergonomiques pour la conception des systèmes de travail. Directive 90/269/CEE du Conseil de la CEE* (Bruxelles).
- , 1991: *Catalogue des normes européennes* (Bruxelles).
- , 1995: *Sécurité des machines: principes ergonomiques de conception. Partie 1. Terminologie et principes généraux. Norme EN 614-1:1995* (Bruxelles).
- Corlett, E.N., 1988: «The investigation and evaluation of work and workplaces», *Ergonomics*, vol. 31, n° 5, pp. 727-734.
- Corlett, E.N. et Bishop, R.P., 1976: «A technique for assessing postural discomfort», *ibid.*, vol. 19, n° 2, pp. 175-182.
- Costa, G., Cesana, G., Kogi, K. et Wedderburn, A., 1990: *Shiftwork: Health, Sleep and Performance* (Frankfurt, Peter Lang).
- Cotton, J.L., Vollrath, D.A., Froggatt, K.L., Lengnick-Hall, M.L. et Jennings, K.R., 1988: «Employee participation: Diverse forms and different outcomes», *Academy of Management Review*, vol. 13, pp. 8-22.
- Cushman, W.H. et Rosenberg, D.J., 1991: *Human Factors in Product Design* (Amsterdam, Elsevier).
- Dachler, H.P. et Wilpert, B., 1978: «Conceptual dimensions and boundaries of participation in organizations: A critical evaluation», *Administrative Science Quarterly*, vol. 23, pp. 1-39.
- Daftuar, C.N., 1975: «The role of human factors in underdeveloped countries, with special reference to India», *Ethnic Variable in Human Factors Engineering*, *op. cit.*
- Das, B. et Grady, R.M., 1983a: «Industrial workplace layout design. An application of engineering anthropometry», *Ergonomics*, vol. 26, n° 5, pp. 433-447.
- , 1983b: «The normal working area in the horizontal plane. A comparative study between Farley's and Squire's concepts», *ibid.*, pp. 449-459.
- Deci, E.L., 1975: *Intrinsic Motivation* (New York, Plenum Press).
- Decortis, F. et Cacciabue, P.C., 1990: «Modélisation cognitive et analyse de l'activité», dans *Modèles et pratiques de l'analyse du travail*, *op. cit.*
- DeGreve, T.B. et Ayoub, M.M., 1987: «A workplace design expert system», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 2, pp. 37-48.
- De Keyser, V., 1986: «De l'évolution des métiers», dans C. Levy-Leboyer et J.C. Sperandio (directeurs de publication): *Traité de psychologie du travail* (Paris, Presses universitaires de France).
- De Keyser, V. et Housiaux, A., 1989: *The Nature of Human Expertise*, Rapport intermédiaire. Politique scientifique (Liège, Université de Liège).
- De Keyser, V. et Nyssen, A.S., 1993: «Les erreurs humaines en anesthésie», *Le travail humain*, vol. 56, n° 2-3.
- De Lisi, P.S., 1990: «Lesson from the steel axe: Culture, technology and organizational change», *Sloan Management Review*, vol. 32, pp. 83-93.
- Dillon, A., 1992: «Reading from paper versus screen: A critical review of the empirical literature», *Ergonomics*, vol. 35, n° 10, pp. 1297-1326.
- Dinges, D.F., 1992: «Probing the limits of functional capacity: The effects of sleep loss on short-duration tasks», dans R.J. Broughton et R.D. Ogilvie (directeurs de publication): *Sleep, Arousal, and Performance* (Boston, Birkhäuser).
- Drury, C.G., 1987: «A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs», *Seminars in Occupational Medicine*, vol. 2, pp. 41-49.
- Edholm, O.G., 1966: «The assessment of habitual activity», dans K. Evang et K. Lange-Andersen (directeurs de publication): *Physical Activity in Health and Disease* (Oslo, Universitetsforlaget).
- Eilers, K., Nachreiner, F. et Hänicke, K., 1986: «Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung», *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, vol. 40, pp. 215-224.
- Elzinga, A. et Jamison, A., 1981: *Cultural Components in the Scientific Attitude to Nature: Eastern and Western Mode*, document de travail n° 146 (Lund, University of Lund, Research Policy Institute).
- Emery, F.E., 1959: *Characteristics of Socio-Technical Systems*, document n° 527 (Londres, Tavistock).
- Empson, J., 1993: *Sleep and Dreaming* (New York, Harvester Wheatsheaf).
- Ericson, K.A. et Simon, H.A., 1984: *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data* (Cambridge, Massachusetts, MIT Press).
- Fadier, E., 1990: «Fiabilité humaine: méthodes d'analyse et domaines d'application», dans J. Leplat et G. de Tressac (directeurs de publication): *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes* (Marseille, Octares).
- Falzon, P., 1991: «Cooperative dialogues», dans J. Rasmussen, B. Brehmer et J. Leplat (directeurs de publication): *Distributed Decision Making. Cognitive Models for Cooperative Works* (Chichester, Wiley).
- Faverge, J.M., 1972: «L'analyse du travail», dans M. Reuchlin (directeur de publication): *Traité de psychologie appliquée* (Paris, Presses universitaires de France).
- Fisher, S., 1986: *Stress and Strategy* (Londres, Erlbaum).
- Flanagan, J.L., 1954: «The critical incident technique», *Psychological Bulletin*, vol. 51, pp. 327-358.
- Fleishman, E.A. et Quaintance, M.K., 1984: *Toxonomics of Human Performance: The Description of Human Tasks* (New York, Academic Press).
- Flügel, B., Greil, H. et Sommer, K., 1986: *Anthropologischer Atlas. Grundlagen und Daten. Deutsche Demokratische Republik* (Berlin, Verlag Tribüne).
- Folkard, S. et Akerstedt, T., 1992: «A three-process model of the regulation of alertness/sleepiness», dans *Sleep, Arousal, and Performance*, *op. cit.*
- Folkard, S. et Monk, T.H., 1985: *Hours of Work: Temporal Factors in Work-scheduling* (Chichester, Wiley).
- Folkard, S., Totterdell, P., Minors, D.S. et Waterhouse, J.M., 1993: «Dissecting circadian performance rhythms: Implications for shiftwork», *ibid.*, vol. 36, n° 1-3, pp. 283-88.
- Fröberg, J.E., 1985: «Sleep deprivation and prolonged working hours», dans *Hours of Work: Temporal Factors in Work-scheduling*, *op. cit.*

- Fuglesang, A., 1982: *About Understanding Ideas and Observations on Cross-Cultural Communication* (Uppsala, Dag Hammarskjöld Foundation).
- Geertz, C., 1973: *The Interpretation of Cultures* (New York, Basic Books).
- Gilad, I., 1993: «Methodology for functional ergonomic evaluation of repetitive operations», dans R. Nielsen et K. Jørgensen (directeurs de publication): *Advances in Industrial Ergonomics and Safety* (Londres, Taylor and Francis), vol. V.
- Gilad, I. et Messer, E., 1992: «Biomechanics considerations and ergonomic design in diamond polishing», dans S. Kumar (directeur de publication): *Advances in Industrial Ergonomics and Safety* (Londres, Taylor and Francis), vol. IV.
- Glenn, E.S. et Glenn, C.G., 1981: *Man and Mankind: Conflict and Communication between Cultures* (Norwood, New Jersey, Ablex).
- Gopher, D. et Donchin, E., 1986: «Workload — An examination of the concept», dans K. Boff, L. Kaufman et J.P. Thomas (directeurs de publication): *Handbook of Perception and Human Performance. Cognitive Processes and Performance* (New York, Wiley).
- Gould, J.D., 1988: «How to design usable systems», dans M. Helander (directeur de publication): *Handbook of Human Computer Interaction* (Amsterdam, Elsevier).
- Gould, J.D., Boies, S.J., Levy, S., Richards, J.T. et Schoonard, J., 1987: «The 1984 Olympic message system: A test of behavioral principles of the design», *Communications of the ACM*, vol. 30, pp. 758-769.
- Gould, J.D. et Lewis, C., 1985: «Designing for usability: Key principles and what designers think», *ibid.*, vol. 28, pp. 300-311.
- Gowler, D. et Legge, K., 1978: «Participation in context: Towards a synthesis of the theory and practice of organizational change. Part I», *Journal of Management Studies*, vol. 16, pp. 150-175.
- Grady, J.H. et de Vries, J., 1994: *RAM: The Rehabilitation Technology Acceptance Model as a Base for an Integral Product Evaluation*, Instituut voor Research, Ontwikkeling en Nascholing in de Gezondheidszorg (IRON) et University Twente, Department of Biomedical Engineering.
- Grandjean, E., 1988: *Fitting the Task to the Man* (Londres, Taylor and Francis).
- Grant, S. et Mayes, T., 1991: «Cognitive task analysis», dans G.S. Weir et J. Alty (directeurs de publication): *Human-computer Interaction and Complex Systems* (Londres, Academic Press).
- Greenbaum, J. et Kyng, M., 1991: *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems* (Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum).
- Greuter, M.A. et Algera, J.A., 1989: «Criterion development and job analysis», dans P. Herlot (directeur de publication): *Assessment and Selection in Organizations* (Chichester, Wiley).
- Grote, G., 1994: «A participatory approach to the complementary design of highly automated work systems», dans G. Bradley et H.W. Hendrick (directeurs de publication): *Human Factors in Organizational Design and Management* (Amsterdam, Elsevier).
- Guelaud, F., Beauchesne, M.N., Gautrat, J. et Roustang, G., 1977: *Pour une analyse des conditions du travail ouvrier dans l'entreprise* (Paris, A. Colin).
- Hacker, W., 1986: «Arbeitspsychologie», dans E. Ulich (directeur de publication): *Schriften zur Arbeitspsychologie* (Berne, Huber).
- Hacker, W. et Richter, P., 1994: «Psychische Fehlbeanspruchung», dans: *Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress* (Heidelberg, Springer).
- Hackman, J.R. et Oldham, G.R., 1975: «Development of the job diagnostic survey», *Journal of Applied Psychology*, vol. 60, n° 2, pp. 159-170.
- Hancock, P.A. et Chignell, M.H., 1986: «Toward a theory of mental workload: Stress and adaptability in human-machine systems», *Proceedings of the 1986 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (New York, IEEE).
- Hancock, P.A. et Meshkati, N., 1988: *Human Mental Workload* (Amsterdam, North Holland).
- Härmä, M., 1993: «Individual differences in tolerance to shiftwork: A review», *Ergonomics*, vol. 36, n° 1-3, pp. 101-109.
- Hart, S. et Staveland, L.E., 1988: «Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research», dans *Human Mental Workload*, *op. cit.*
- Hirschheim, R. et Klein, H.K., 1989: «Four paradigms of information systems development», *Communications of the ACM*, vol. 32, pp. 1199-1216.
- Hoc, J.M., 1989: «Cognitive approaches to process control», dans G. Tiberghien (directeur de publication): *Advances in Cognitive Science* (Chichester, Horwood).
- Hofstede, G., 1980: *Culture's Consequences: International Differences in Work-related Values* (Beverly Hills, California, Sage University Press).
- . 1983: «The cultural relativity of organizational practices and theories», *Journal of International Business Studies*, vol. 14, automne, pp. 75-89.
- Hornby, P. et Clegg, C., 1992: «User participation in context: A case study in a UK bank», *Behaviour and Information Technology*, vol. 11, pp. 293-307.
- Hosni, D.E., 1988: «The transfer of microelectronics technology to the third world», *Technology Management Publication*, vol. 1, pp. 391-3997.
- Hsu, S.H. et Peng, Y., 1993: «Control/display relationship of the four-burner stove: A reexamination», *Human Factors*, vol. 35, pp. 745-749.
- Japan Industrial Design Promotion Organization (JIDPO), 1990: *Good Design Products 1989* (Tokyo).
- Jastrzebski, W., 1857: «An outline of ergonomics or the science of work based upon the truths drawn from the science of nature» (en polonais) *Nature et Industrie*, vol. 29 et 30.
- Jeanneret, P.R., 1980: «Equitable job evaluation and classification with the Position Analysis Questionnaire», *Compensation Review*, vol. 1, pp. 32-42.
- Jürgens, H.W., Aune, I.A. et Pieper, U., 1990: «Atlas international de données anthropométriques», *Occupational Safety and Health Series No. 65* (Genève, BIT).
- Kadefors, R., 1993: «A model for assessment and design of workplaces for manual welding», dans W.S. Marras, W. Karwowski et L. Pacholski (directeurs de publication): *The Ergonomics of Manual Work* (Londres, Taylor and Francis).
- Kahneman, D., 1973: *Attention and Effort* (Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall).
- Karhu, O., Harkonen, R., Sorvali, P. et Vepsäläinen, P., 1981: «Observing working postures in industry: Examples of OWAS application», *Applied Ergonomics*, vol. 12, n° 1, pp. 13-17.
- Karhu, O., Kansi, P. et Kuorinka, I., 1977: «Correcting working postures in industry: A practical method for analysis», *ibid.*, vol. 8, pp. 199-201.
- Kedia, B.L. et Bhagat, R.S., 1988: «Cultural constraints on transfer of technology across nations: Implications for research in international and comparative management», *Academy of Management Review*, vol. 13, pp. 559-571.
- Keesing, R.M., 1974: «Theories of culture», *Annual Review of Anthropology*, vol. 3, pp. 73-79.
- Kepenne, P., 1984: *La charge de travail dans une unité de soins de médecine, mémoire*, Université de Liège (Liège).
- Kerguelen, A., 1986: *L'observation systématique en ergonomie: élaboration d'un logiciel d'aide au recueil et à l'analyse des données, thèse*, Conservatoire national des arts et métiers (Paris).
- Ketchum, L., 1984: «Sociotechnical design in a third world country: The railway maintenance depot at Sennar in Sudan», *Human Relations*, vol. 37, pp. 135-154.
- Keyserling, W.M., 1986: «A computer-aided system to evaluate postural stress in the workplace», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 47, n° 10, pp. 641-649.
- Kingsley, P.R., 1983: «Technological development: Issues, roles and orientation for social psychology», dans F. Blacker (directeur de publication): *Social Psychology and Developing Countries* (New York, Wiley).
- Kinney, J.S. et Huey, B.M., 1990: *Application Principles for Multicolored Displays* (Washington, DC, National Academy Press).
- Kivi, P. et Mattila, M., 1991: «Analysis and improvement of work postures in building industry: Application of the computerized OWAS method», *Applied Ergonomics*, vol. 22, n° 1, pp. 43-48.
- Knauth, P., Rohmer, W. et Rutenfranz, J., 1979: «Systemic selection of shift plans for continuous production with the aid of work-physiological criteria», *ibid.*, vol. 10, n° 1, pp. 9-15.
- Knauth, P. et Rutenfranz, J., 1981: «Duration of sleep related to the type of shift work», dans A. Reinberg, N. Vieux et P. Andlauer (directeurs de publication): *Night and Shiftwork: Biological and Social Aspects* (Oxford, Pergamon).
- Kogi, K., 1981: «Comparison of resting conditions between various shift rotation systems for industrial workers», dans *Night and Shiftwork: Biological and Social Aspects*, (Oxford, Pergamon).
- . 1982: «Sleep problems in night and shift work. II. Shiftwork: Its practice and improvement», *Journal of Human Ergology*, vol. 11, supplément, pp. 217-231.
- . 1985: «Introduction to the problems of shiftwork», dans *Hours of Work: Temporal Factors in Work-scheduling*, *op. cit.*
- . 1991: «Job content and working time: The scope for joint change», *Ergonomics*, vol. 34, n° 6, pp. 757-773.
- Kogi, K. et Thurman, J.E., 1993: «Trends in approaches to night and shiftwork and new international standards», *ibid.*, vol. 36, n° 1-3, pp. 3-13.
- Köhler, C., von Behr, M., Hirsch-Kreinsen, H., Lutz, B., Nuber, C. et Schultz-Wild, R., 1989: «Alternativen der Gestaltung von Arbeits- und Personalstrukturen bei rechnerintegrierter Fertigung», dans Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung (directeur de publication): *Strategische Optionen der Organisations- und Personalentwicklung bei CIM*, Forschungsbericht KfK-PFT 148 (Karlsruhe, Projektträgerchaft Fertigungstechnik).
- Koller, M., 1983: «Health risks related to shift work. An example of time-contingent effects of long-term stress», *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 53, pp. 59-75.
- Konz, S., 1990: «Workstation organization and design», *Ergonomics*, vol. 32, pp. 795-811.
- Kroeber, A.L. et Kluckhohn, C., 1952: «Culture: A critical review of concepts and definitions», *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology* (Boston, Harvard University), vol. 47, n° 1a, pp. 1-223.
- Kroemer, K.H.E., 1993: «Operation of ternary chorded keys», *International Journal of Human-computer Interaction*, vol. 5, pp. 267-288.
- . 1994a: «Locating the computer screen: How high, how far?», *Ergonomics in Design*, janv., p. 40.
- . 1994b: «Alternative keyboards», *Proceedings of the Fourth International Scientific Conference WWDU'94* (Milan, Université de Milan).
- . 1995: «Ergonomics», dans B.A. Ploog (directeur de publication): *Fundamentals of Industrial Hygiene* (Chicago, National Safety Council).
- Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.B. et Kroemer-Elbert, K.E., 1994: *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency* (Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall).
- Kwon, K.S., Lee, S.Y. et Ahn, B.H., 1993: «An approach to fuzzy expert systems for product colour design», dans *The Ergonomics of Manual Work*, *op. cit.*

- Lacoste, M., 1983: «Des situations de parole aux activités interprétatives», *Psychologie française*, vol. 28, n° 3-4, pp. 231-238.
- Landau, K. et Rohmert, W., 1981: *AET — A New Job Analysis Method* (Detroit, Michigan, AIEE Annual Conference).
- Laurig, W., 1970: *Elektromyographie als Arbeitswissenschaftliche Untersuchungsmethode zur Beurteilung von statischer Muskelarbeit* (Berlin, Beuth Verlag).
- 1974: *Beurteilung einseitig dynamischer Muskelarbeit* (Berlin, Beuth Verlag).
- 1981: «Belastung, Beanspruchung und Erholungszeit bei energetisch-muskulärer Arbeit — Literaturanalyse», *Forschungsbericht Nr. 272 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund* (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).
- 1992: *Grundzüge der Ergonomie. Erkenntnisse und Prinzipien* (Berlin, Cologne, Beuth Verlag).
- Laurig, W. et Rombach, V., 1989: «Expert systems in ergonomics: Requirements and an approach», *Ergonomics*, vol. 32, n° 7, pp. 795-811.
- Leach, E.R., 1965: «Culture and social cohesion: An anthropologist's view», dans Holten (directeur de publication): *Science and Culture* (Boston, Houghton Mifflin).
- Leana, C.R., Locke, E.A., Schweiger, D.M. et coll., 1990: «Fact and fiction in analyzing research on participative decision making: A critique of J.L. Cotton, D.A. Vollrath, K.L. Froggatt, M.L. Lengnick-Hall et K.R. Jennings», *Academy of Management Review*, vol. 15, n° 1, pp. 137-153.
- Lewin, K., 1951: *Field Theory in Social Science* (New York, Harper).
- Liker, J.K., Nagamachi, M. et Lifshitz, Y.R., 1988: *A Comparative Analysis of Participatory Programs in US and Japan Manufacturing Plants* (Ann Arbor, University of Michigan, Center for Ergonomics, Industrial and Operational Engineering).
- Lillrank, B. et Kano, N., 1989: *Continuous Improvement: Quality Control Circles in Japanese Industries* (Ann Arbor, University of Michigan, Center for Japanese Studies).
- Locke, E.A. et Schweiger, D.M., 1979: «Participation in decision making: One more look», dans B.M. Staw (directeur de publication): *Research in Organizational Behavior* (Greenwich, Connecticut, JAI Press).
- Louhevaara, V., Hakola, T. et Ollila, H., 1990: «Physical work and strain involved in manual sorting of postal parcels», *Ergonomics*, vol. 33, pp. 1115-1130.
- Luczak, H., 1982: «Belastung, Beanspruchung und Erholungszeit bei informativ-mentaler Arbeit — Literaturanalyse», *Forschungsbericht Nr. 306 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund* (Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW).
- 1983: «Ermüdung», dans W. Rohmert et J. Rutenfranz (directeurs de publication): *Praktische Arbeitsphysiologie* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag).
- 1993: *Arbeitswissenschaft* (Berlin, Springer Verlag).
- McCormick, E.J., 1979: *Job Analysis: Methods and Applications* (New York, American Management Association).
- McIntosh, D.J., 1994: «Integration of VDUs into the US office work environments», *Proceedings of the Fourth International Scientific Conference WWDU' 94*, op. cit.
- McWhinney, 1990: *The Power of Myth in Planning and Organizational Change, 1989 IEEE Technics, Culture and Consequences* (Torrence, Californie, IEEE Los Angeles Council).
- Majchrzak, A., 1988: *The Human Side of Factory Automation* (San Francisco, Jossey-Bass).
- Martin, T., Kivinen, J., Rijnsdorp, J.E., Rodd, M.G. et Rouse, W.B., 1991: «Appropriate automation-integrating technical, human, organization, economic and cultural factors», *Automatica*, vol. 27, pp. 901-917.
- Matsumoto, K. et Harada, M., 1994: «The effect of night-time naps on recovery from fatigue following night work», *Ergonomics*, vol. 37, n° 5, pp. 899-907.
- Matthews, R., 1982: *Divergent conditions in the technological development of India and Japan*, Lund Letters on Technology and Culture, n° 4 (Lund, University of Lund, Research Policy Institute).
- Meshkati, N., 1989: «An etiological investigation of micro- and macroergonomics factors in the Bhopal disaster: Lessons for industries of both industrialized and developing countries», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 4, pp. 161-175.
- Minors, D.S. et Waterhouse, J.M., 1981: «Anchor sleep as a synchronizer of rhythms on abnormal routines», *International Journal of Chronobiology*, vol. 7, n° 3, pp. 165-188.
- Mital, A. et Karwowski, W., 1991: *Advances in Human Factors / Ergonomics* (Amsterdam, Elsevier).
- Monk, T.H., 1991: *Sleep, Sleepiness and Performance* (Chichester, Wiley).
- Moray, N., Sanderson, P.M. et Vincente, K., 1989: «Cognitive task analysis for a team in a complex work domain: A case study», *Proceedings of the Second European Meeting on Cognitive Science Approaches to Process Control, Siena, Italy*.
- Mossholder, K.W. et Arvey, R.D., 1984: «Synthetic validity: A conceptual and comparative review», *Journal of Applied Psychology*, vol. 69, pp. 322-333.
- Mumford, E. et Henshall, 1979: *A Participative Approach to Computer Systems Design* (Londres, Associated Business Press).
- Nagamachi, M., 1992: «Pleasantness and Kansei engineering», *Measurement Standards* (Taejon, Corée, Korean Research Institute of Standards and Science Publishing).
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1981: *Work Practices Guide for Manual Lifting* (Cincinnati, Ohio, US Department of Health and Human Services).
- 1990: *OSHA Instruction CPL 2.85: Directorate of Compliance Programs: Appendix C, Guidelines Suggested by NIOSH for Videotape Evaluation of Work Station for Upper Extremities Cumulative Trauma Disorders* (Washington, DC, US Department of Health and Human Services).
- Navarro, C., 1990: «Functional communication and problem-solving in a bus traffic-regulation task», *Psychological Reports*, vol. 67, pp. 403-409.
- Negandhi, A.R.T., 1975: *Modern Organizational Behaviour* (Kent, Kent University).
- Nisbett, R.E. et De Camp Wilson, T.D., 1977: «Telling more than we know», *Psychological Review*, vol. 84, pp. 231-259.
- Norman, D.A., 1993: *Things that Make us Smart* (Reading, Addison-Wesley).
- Noro, K. et Imada, A.S., 1991: *Participatory Ergonomics* (Londres, Taylor and Francis).
- O'Donnell, R.D. et Eggemeier, F.T., 1986: «Work load assessment methodology», dans *Handbook of Perception and Human Performance. Cognitive Processes and Performance*, op. cit.
- Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), 1992: *Ergonomics Impact of Science on Society*, vol. 165 (Londres, Taylor and Francis).
- Organisation internationale de normalisation (ISO), 1996: *Définition des mesures de base du corps humain pour la conception technologique*, norme ISO 7250:1996 (Genève).
- Pagels, H.R., 1984: «Computer culture: The scientific, intellectual and social impact of the computer», *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 426.
- Persson, J. et Kilbom, Å., 1983: *VIRA — En Enkel Videofilmteknik För Registrering Och Analys Av Arbetsställningar Och — Rörelser, Undersökningsrapport Arbetrskyddsstyrelsen* (Solna, Suède).
- Pham, D.T. et Onder, H.H., 1992: «A knowledge-based system for optimizing workplace layouts using a genetic algorithm», *Ergonomics*, vol. 35, n° 12, pp. 1479-1487.
- Pheasant, S., 1986: *Bodyspace, Anthropometry, Ergonomics and Design* (Londres, Taylor and Francis).
- Poole, C.J.M., 1993: «Seamstress' finger», *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 50, pp. 668-669.
- Putz-Anderson, V., 1988: *Cumulative Trauma Disorders. A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs* (Londres, Taylor and Francis).
- Rasmussen, J., 1983: «Skills, rules, and knowledge: Sinds, signs, symbols and other distinctions in human performance models», *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 13, pp. 257-266.
- 1986: «A framework for cognitive task analysis in systems design», dans E. Hollnagel, G. Mancini et D.D. Woods (directeurs de publication): *Intelligent Decision Support in Process Environments* (Berlin, Springer).
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. et Schmidts, K., 1990: «Taxonomy for an analysis of work domains», *Proceedings of the First MOHAWC Workshop*, op. cit.
- Reason, J., 1989: *Human Error* (Cambridge, CUP).
- Rebiffé, R., Zayana, O. et Tarière, C., 1969: «Determination of the optimum zones for the location of manual controls within workplaces», *Ergonomics*, vol. 12, n° 6, pp. 913-924.
- Régie nationale des usines Renault (RNUR), 1976: *Les profils de poste: méthode d'analyse des conditions de travail* (Paris, Masson-Sirtes).
- Rogalski, J., 1991: «Distributed decision making in emergency management: Using a method as a framework for analysing cooperative work and as a decision aid», dans *Distributed Decision Making, Cognitive Models for Cooperative Work*, op. cit.
- Rohmert, W., 1962: *Untersuchungen über Muskelermüdung und Arbeitsgestaltung* (Berne, Beuth-Vertrieb).
- 1973: «Problems in determining rest allowances. Part I. Use of modern methods to evaluate stress and strain in static muscular work», *Applied Ergonomics*, vol. 4, n° 2, pp. 91-95.
- 1984: «Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept», *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, vol. 38, pp. 193-200.
- Rohmert, W. et Landau, K., 1985: *Analysis* (Londres, Taylor and Francis).
- Rolland, C., 1986: «Introduction à la conception des systèmes d'information et panorama des méthodes disponibles», *Génie logiciel*, vol. 4, pp. 6-11.
- Roth, E.M. et Woods, D.D., 1988: «Aiding human performance. I. Cognitive analysis», *Le travail humain*, vol. 51, n° 1.
- Rudolph, E., Schönfelder, E. et Hacker, W., 1987: *Tätigkeitsbewertungssystem für geistige Arbeit mit und ohne Rechnerunterstützung (TBS-GA)* (Berlin, Psychodiagnostisches Zentrum der Humboldt-Universität).
- Rutenfranz, J., 1982: «Occupational health measures for night- and shiftworkers. II. Shiftwork: Its practice and improvement», *Journal of Human Ergology*, vol. 11, supplément, pp. 67-86.
- Rutenfranz, J., Ilmarinen, J., Klimmer, F. et Kylian, H., 1990: «Work load and demanded physical performance capacity under different industrial working conditions», dans M. Kaneko (directeur de publication): *Fitness for Aged, Disabled, and Industrial Workers* (Champaign, Illinois, Human Kinetics Books).
- Rutenfranz, J., Knauth, P. et Angersbach, D., 1981: «Shift work research issues», dans L.C. Johnson, D.I. Tepas, W.P. Colquhoun et M.J. Colligan (directeurs de publication): *Biological Rhythms, Sleep and Shift Work* (New York, Spectrum Publications Medical and Scientific Books).
- Saito, Y. et Matsumoto, K., 1988: «Variations of physiological functions and psychological measures and their relationship on delayed shift of sleeping time» (en japonais), *Sangyo Igaku*, vol. 30, n° 3, pp. 196-205.

- Sakai, K., Watanabe, A., Onishi, N., Shindo, H., Kimotsuki, K., Saito, H. et Kogi, K., 1984: «Conditions of night naps effective to facilitate recovery from night work fatigue (en japonais), *Rodo Kagaku Kenkyusho*, vol. 60, pp. 451-478.
- Savage, C.M. et Appleton, D., 1988: *CIM and Fifth Generation Management* (Dearborn, C.A.S.A./SME Technical Council).
- Savoyant, A. et Leplat, J., 1983: «Statut et fonction des communications dans l'activité des équipes de travail», *Psychologie française*, vol. 28, n° 3-4, pp. 247-253.
- Scarborough, H. et Corbett, J.M., 1992: *Technology and Organization* (Londres, Routledge).
- Schmidtke, H., 1965: *Die Ermüdung* (Berne, Huber).
- , 1971: *Untersuchungen über den Erholungszeitbedarf bei verschiedenen Arten gewerblicher Tätigkeit* (Berlin, Beuth-Vertrieb).
- Sen, R.N., 1984: «Application of ergonomics to industrially developing countries», *Ergonomics*, vol. 27, n° 10, pp. 1021-1032.
- Sergean, R., 1971: *Managing Shiftwork* (Londres, Gower Press).
- Sethi, A.A., Caro, D.H.J. et Schuler, R.S., 1987: *Strategic Management of Technostress in an Information Society* (Lewiston, Hogrefe).
- Shackel, B., 1986: «Ergonomics in design for usability», dans M.D. Harrison et A.F. Monk (directeurs de publication): *People and Computer: Design for Usability* (Cambridge, Cambridge University Press).
- Shahnavaz, H., 1991: *Transfer of Technology to Industrially Developing Countries and Human Factors Consideration TULÉA 1991: 22, 23024* (Luleå, Suède, Luleå University, Center for Ergonomics of Developing Countries).
- Shahnavaz, H., Abeysekera, J.D.A. et Johansson, A., 1993: «Solving multi-factorial work-environment problems through participatory ergonomics: Case study: VDT operators», dans E. Williams, S. Marrs, W. Karwowski, J.L. Smith et L. Pacholski (directeurs de publication): *Ergonomics of Manual Work* (Londres, Taylor and Francis).
- Shaw, J.B. et Riskind, J.H., 1983: «Predicting job stress using data from the Position Analysis Questionnaire (PAQ)», *Journal of Applied Psychology*, vol. 68, n° 2, pp. 253-261.
- Shugaar, A., 1990: «EcodeSIGN: New products for a greener culture», *International Herald Tribune*, vol. 17.
- Sinaiko, W.H., 1975: «Verbal factors in human engineering: Some cultural and psychological data», dans *Ethnic Variables in Human Factors Engineering*, op. cit.
- Singleton, W.T., 1982: *The Body at Work* (Cambridge, CUP).
- Snyder, H.L., 1985a: «Image quality: Measures and visual performance», dans L.E. Tannas (directeur de publication): *Flat Panel Displays and CRTs* (New York, Van Nostrand Reinhold).
- , 1985b: «The visual system: Capabilities and limitations», dans: *Flat Panel Displays and CRTs*, *ibid.*
- Solomon, C.M., 1989: «The corporate response to work force diversity», *Personnel Journal*, vol. 68, pp. 42-53.
- Sperandio, J.C., 1972: «Charge de travail et régulation des processus opératoires», *Le travail humain*, vol. 35, pp. 85-98.
- Sperling, L., Dahlman, S., Wikström, L., Kilbom, Å. et Kadefors, R., 1993: «A cube model for the classification of work with hand tools and the formulation of functional requirements», *Applied Ergonomics*, vol. 24, n° 3, pp. 212-220.
- Spinas, P., 1989: «User oriented software development and dialogue design», dans M.J. Smith et G. Salvendy (directeurs de publication): *Work with Computers: Organizational, Management, Stress and Health Aspects* (Amsterdam, Elsevier).
- Staramler, J.H., 1993: *The Dictionary of Human Factors Ergonomics* (Boca Raton, Floride, CRC Press).
- Strohm, O., Kuark, J.K. et Schilling, A., 1993: «Integrierte Produktion: Arbeitspsychologische Konzepte und empirische Befunde, Schriftenreihe Mensch, Technik, Organisation», dans G. Cyranek et E. Ulich (directeurs de publication): *CIM — Herausforderung an Mensch, Technik, Organisation* (Stuttgart, Zürich, Verlag der Fachvereine).
- Strohm, O., Troxler, P. et Ulich, E., 1994: *Vorschlag für die Restrukturierung eines Produktionsbetriebes* (Zürich, Institut für Arbeitspsychologie der ETH).
- Sullivan, L.P., 1986: «Quality function deployment: A system to assure that customer needs drive the product design and production process», *Quality and Progress*, pp. 39-50.
- Sundin, A., Laring, J., Bäck, J., Nengtsson, G. et Kadefors, R., 1994: *An Ambulatory Workplace for Manual Welding: Productivity through Ergonomics*, manuscrit (Göteborg, Lindholmen Development).
- Tardieu, H., Nanci, D. et Pascol, D., 1985: *Conception d'un système d'information* (Paris, Editions d'organisation).
- Teiger, C., Laville, A. et Durafourg, J., 1974: *Tâches répétitives sous contrainte de temps et charge de travail*, rapport n° 39 (Paris, Laboratoire de physiologie du travail et d'ergonomie du CNAM).
- Torsvall, L., Akerstedt, T. et Gillberg, M., 1981: «Age, sleep and irregular workhours: A field study with EEG recording, catecholamine excretion and self-ratings», *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 7, pp. 196-203.
- Ulich, E., 1994: *Arbeitspsychologie*, 3^e édition (Zürich, Verlag der Fachvereine).
- Ulich, E., Rauterberg, M., Moll, T., Greutmann, T. et Strohm, O., 1991: «Task orientation and user-oriented dialogue design», *International Journal of Human-computer Interaction*, vol. 3, pp. 117-144.
- van Daele, A., 1988: «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*, vol. 51, n° 1, pp. 65-80.
- , 1992: *La réduction de la complexité par les opérateurs dans le contrôle de processus continus. Contribution à l'étude du contrôle par anticipation et de ses conditions de mise en œuvre* (Liège, Université de Liège).
- van der Beek, A.J., van Gaalen, L.C. et Frings-Dresen, M.H.W., 1992: «Working postures and activities of lorry drivers: A reliability study of on-site observation and recording on a pocket computer», *Applied Ergonomics*, vol. 23, n° 5, pp. 331-336.
- Vleeschdrager, E., 1986: *Hardness 10: Diamonds* (Paris).
- Volpert, W., 1987: «Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten», dans U. Kleinbeck et J. Rutenfranz (directeurs de publication): *Arbeitspsychologie. Enzyklopädie der Psychologie* (Göttingen, Hogrefe).
- Wagner, R., 1985: «Job analysis at ARBED», *Ergonomics*, vol. 28, n° 1, pp. 255-273.
- Wagner, J.A. et Gooding, R.Z., 1987: «Effects of societal trends on participation research», *Administrative Science Quarterly*, vol. 32, pp. 241-262.
- Wall, T.D. et Lischeron, J.A., 1977: *Worker Participation: A Critique of the Literature and Some Fresh Evidence* (Londres, McGraw-Hill).
- Wang, W.M.Y., 1992: *Usability Evaluation for Human-computer Interaction (HCI)* (Luleå, Suède, Luleå University of Technology).
- Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A. et Fine, L.J., 1993: «Revised NIOSH Equation for the design and evaluation of manual handling tasks», *Ergonomics*, vol. 36, n° 7, pp. 749-776.
- Wedderburn, A., 1991: «Guidelines for shiftworkers», *Bulletin of European Shiftwork Topics*, n° 3 (Dublin, Fondation européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail).
- Welford, A.T., 1978: «Mental workload as a function of demand, capacity, strategy and skill», *Ergonomics*, vol. 21, n° 3, pp. 151-167.
- White, P.A., 1988: «Knowing more about what we tell: 'Introspective access' and causal report accuracy, 10 years later», *British Journal of Psychology*, vol. 79, pp. 13-45.
- Wickens, C.D., 1992: *Engineering Psychology and Human Performance* (New York, Harper Collins).
- Wickens, C.D. et Yeh, Y.Y., 1983: «The dissociation between subjective work load and performance: A multiple resources approach», dans: *Proceedings of the Human Factors Society 27th Annual Meeting* (Santa Monica, Californie, Human Factors Society).
- Wieland-Eckelmann, R., 1992: *Kognition, Emotion und Psychische Beanspruchung* (Göttingen, Hogrefe).
- Wikström, L., Byström, S., Dahlman, S., Fransson, C., Kadefors, R., Kilbom, Å., Landervik, E., Lieberg, L., Sperling, L. et Öster, J., 1991: *Criterion for Selection and Development of Hand Tools* (Stockholm, National Institute of Occupational Health).
- Wilkinson, R.T., 1964: «Effects of up to 60 hours' sleep deprivation on different types of work», *Ergonomics*, vol. 7, n° 2, pp. 176-186.
- Williams, R., 1976: *Keywords: A Vocabulary of Culture and Society* (Glasgow, Fontana).
- Wilpert, B., 1989: «Mitbestimmung», dans S. Greif, H. Holling et N. Nicholson (directeurs de publication): *Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen* (Munich, Psychologie Verlags Union).
- Wilson, J.R., 1991: «Participation: A framework and foundation for ergonomics», *Journal of Occupational Psychology*, vol. 64, pp. 67-80.
- Wilson, J.R. et Corlett, E.N., 1990: *Evaluation of Human Work: A Practical Ergonomics Methodology* (Londres, Taylor and Francis).
- Wisner, A., 1983: «Ergonomics or anthropology: A limited or wide approach to working conditions in technology transfer», dans H. Shahnavaz et Babri (directeurs de publication): *Proceedings of the First International Conference on Ergonomics of Developing Countries* (Luleå, Suède, Luleå University of Technology).
- Womack, J., Jones, T. et Roos, D., 1990: *The Machine that Changed the World* (New York, Macmillan).
- Woodson, W.E., Tillman, B. et Tillman, P., 1991: *Human Factors Design Handbook* (New York, McGraw-Hill).
- Zhang, Y.K. et Tyler, J.S., 1990: «The establishment of a modern telephone cable production facility in a developing country. A case study», *International Wire and Cable Symposium Proceedings, Illinois*.
- Zinchenko, V. et Munipov, V., 1989: *Fundamentals of Ergonomics* (Moscou, Progress).

Références complémentaires

- Amphoux, L., 1976: «Fatigue. Instantanés médicaux, pathologie du travail, intoxications, maladies par agents physiques», dans l'*Encyclopédie médico-chirurgicale* (Paris, Editions techniques).
- Birren, J.E. et Warner Schaie, K., 1990: *Handbook of the Psychology of Aging* (New York, Academic Press).
- Bourlière, F., 1982: *Gérontologie, biologie et clinique* (Paris, Flammarion).
- Bugard, P., Caille, E.J., Crocq, L., Ely, B., Henry, M., Petrescu, L. et Reinberg, A., 1974: *Stress, fatigue et dépression dans la vie quotidienne* (Paris, Editions Doin), vol. 1 et 2.
- Carter, F.A. et Corlett, E.N., 1982: *Accidents and Shiftwork* (Dublin, Fondation européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail).
- Charness, M., 1985: *Aging and Human Performance* (New York, Wiley).
- Colligan, M.J. et Rosa, R.R., 1990: «Shiftwork effects on social and family life», dans A.J. Scott (directeur

- de publication): *Shiftwork* (Philadelphie, Hanley and Belfus).
- Davies, B.T. et Shah Nawaz, H., 1977: «An anthropometer for use in developing countries», *Ergonomics*, vol. 20, n° 3, pp. 317-320.
- De Keyser, V., 1992: «Man within the production line», *Proceedings of the Fourth Brite-EuRam Conference, 25-27 May, Seville, Spain* (Bruxelles, CCE).9
- Drury, C.G., Paramore, B., van Cott, H.P., Grey, S.M. et Corlett, E.N., 1987: «Task analysis», dans G. Salvendy (directeur de publication): *Handbook of Human Factors* (New York, Wiley).
- Elias, R., 1978: «A medicobiological approach to workload», note n° 1118-9178, dans *Cahiers de notes documentaires: sécurité et hygiène du travail* (Paris, INRS).
- Folkard, S., Monk, T.H. et Lobban, M.C., 1978: «Short and long-term adjustment of circadian rhythms in 'permanent' night nurses», *Ergonomics*, vol. 21, n° 10, pp. 785-799.
- Fraser, T.M., 1989: *The Worker at Work* (London, Taylor and Francis).
- Freivalds, A., 1987: «The ergonomics of tools», *International Review of Ergonomics*, vol. 1, pp. 43-75.
- Gadbois, C., 1991: «Round the clock operations in hospitals: Shift scheduling, task demands and work organisation», *International Symposium Shiftwork and Job Demands, 11-12 July, Paris*.
- Graf, O., 1922: «Über lohnendste Arbeitspausen bei geistiger Arbeit», *Psychologische der Arbeiten*, vol. 7, pp. 548-611.
- Grieco, A. et Masali, M., 1971: «Setting up a method for the measurement of anthropometric parameters with a view to the ergonomic design of workplaces», *Medicina del Lavoro*, vol. 62, n° 11, pp. 505-531.
- Guillerm, R., Radziszewski, E. et Reinberg, A., 1975: «Circadian rhythms of six healthy young men over a 4-week period with night-work every 48 h and a 2 per cent CO₂ atmosphere», dans P. Colquhoun, S. Folkard, P. Knauth et J. Rutenfranz (directeurs de publication): *Experimental Studies of Shiftwork* (Opladen, Westdeutscher Verlag).
- Hamelin, P., 1981: «Les conditions temporelles de travail des conducteurs routiers et la sécurité routière», *Le travail humain*, vol. 44, pp. 5-21.
- Hanna, A. (directeur de publication), 1990: *I.D. Annual Design Review*, vol. 37, n° 4.
- Konz, S., 1979: «Aménagement du travail», dans *Work Design* (Columbus, Ohio, Grid Publishing Inc.).
- Le travail humain*, 1989: «Vicillessement et travail», vol. 52, n° 1.
- McEwan, Y.W., 1978: «Flexible working arrangements in continuous shift production», *Personnel Review*, pp. 12-19.
- Minors, D.S. et Waterhouse, J.M., 1983: «Circadian rhythm amplitude — is it related to rhythm adjustment and/or worker motivation?», *Ergonomics*, vol. 26, n° 3, pp. 229-241.
- Mital, A. et Kilbom, Å., 1992: «Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities. Part I. Guidelines for the practitioner. Part II. The scientific basis (knowledge base) for the guide», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 10, n° 1-2, pp. 1-21.
- Morgan, C.T., Chapanis, A., Cook, J.S. et Lund, M. (directeurs de publication), 1963: *Human Engineering Guide to Equipment Design* (New York, McGraw-Hill).
- Nowak, E., 1978: «Determination of the spatial reach area of the arms for workplace design purposes», *Ergonomics*, vol. 21, n° 7, pp. 493-507.
- Robinson, P.K., et coll. (non daté): «Aging and technological advances», presented at NATO Conference, Series III, *Human Factors*, vol. 24.
- Rohmert, W., 1975: «Anthropometric elements of ergonomics», *Bulletin de l'AISS*, pp. 25-35.
- . 1983: «Formen menschlicher Arbeit», dans W. Rohmert et J. Rutenfranz (directeurs de publication): *Praktische Arbeitsphysiologie* (Stuttgart, Georg Thieme Verlag).
- Sparke, P., 1987: *Modern Japanese Design* (New York, E.P. Dutton).
- Tichauer, E.R., 1978: *The Biomechanical Basis of Ergonomics* (New York, Wiley Interscience).
- Vidacek, S., Kaliterna, L. et Radosevic-Vidacek, B., 1987: «Predictive validity of individual difference measures for health problems in shiftworkers: Preliminary results», dans A. Oginski, J. Pokorski et J. Rutenfranz (directeurs de publication): *Contemporary Advances in Shiftwork Research* (Cracovie, Medical Academy).
- Webb Associates, 1972: *Anthropometry for Respirator Sizing* (Cincinnati, Ohio, NIOSH).