A . WISNER

TEXTES GENERAUX V

1986 - 1989

ERGONOMIE
TRAVAIL MENTAL
ANTHROPOTECHNOLOGIE

Collection d'Ergonomie et de Neurophysiologie du travail

N°98

A. WISNER

TEXTES GENERAUX V

1986 - 1989

ERGONOMIE
TRAVAIL MENTAL
ANTHROPOTECHNOLOGIE

Août 1989

Ces textes ont été rédigés par A. WISNER qui a bénéficié à plusieurs reprises de contributions importantes d'autres membres du Laboratoire. Comme cela s'est produit antérieurement, certains de ces textes ont été provoqués par la demande sociale et ont permis d'explorer certaines frontières de l'ergonomie.

Table des matières

VERS UNE TECHNOLOGIE CERVEAU-COMPATIBLE

Ce texte a été présenté au Congrès de l'A.F.C.E.T. en Juin 1986 et publié dans les Actes du 1er Congrès de Génie industriel AFCET-CGI ed. Chatenay-Malabry p. 791-799. Il est pour une part importante l'oeuvre de François Daniellou, Maître de Conférences d'Ergonomie au C.N.A.M.

VERS UNE TECHNOLOGIE "CERVEAU-COMPATIBLE"

TOWARDS BRAIN-COMPATIBLE TECHNOLOGY

RÉSUMÉ -

La prise en compte des caractéristiques propres du cerveau humain aux différents stades de la conception favorise l'élaboration de dispositifs sûrs et efficaces. Dans ce cas, les opérateurs peuvent construire à tout moment une représentation efficace du processus qu'ils conduisent. L'ergonomie fournit des données utilisables dans la conception des équipements, de l'organisation du travail et de la formation.

Mots clés : Ergonomie - Conception industrielle - Fiabilité.

ABSTRACT -

The specific characteristics of human brain have to be considered at the different stages of development of safe and efficient devices.

The operators are thus able to build at any time an efficient mental image of the process. Ergonomics provides data for the design of equipment, for the conception of work-organization and training.

Keywords : Ergonomics - Industrial design - Reliability.

Lorsque, à la demande du maître d'ouvrage, un petit groupe d'ingénieurs pose les premières pierres de ce qui va devenir un important projet industriel, on sait que, dans une large mesure, le fonctionnement des dispositifs techniques peut être prévu, calculé, mis au point. Mais ces ingénieurs doivent également tenir compte d'une autre composante, essentielle, du projet: les hommes et les femmes qui auront à utiliser, à régler, à entretenir les machines dans les diverses conditions de leur utilisation.

La contribution au travail de conception que ce texte présente est issue des sciences de la nature. L'organisme humain, et en particulier le cerveau,ont des caractéristiques qui leur sont propres. Il est dangereux de leur imposer de s'adapter à des dispositifs conçus sans référence à leurs propriétés naturelles. Cela est dangereux pour le travailleur pour qui cette inadaptation se traduit par des difficultés, de la fatigue, des risques d'accidents. Cela est dangereux aussi pour l'entreprise, qui court ainsi le risque d'une qualité insuffisante de la production, d'un faible taux d'engagement des dispositifs techniques, voire d'accidents graves pour les personnes et les installations.

Or, ces risques peuvent être considérablement réduits dès la conception. Les avancées conjointes de l'ergonomie et des autres disciplines qui étudient le fonctionnement de l'homme permettent de proposer non pas seulement des interdits ou des limitations, mais surtout une contribution positive. Lorsqu'en effet, les moyens de travail ont été conçus en tenant compte des spécificités de l'homme, les potentialités cognitives de celui-ci restent, dans l'immense majorité des cas, le meilleur garant de l'efficacité économique et de la sécurité de l'ensemble du système.

Le temps n'est plus où les responsables de projets industriels considéraient que la performance maximale pouvait être atteinte grâce à la disparition totale de l'opérateur humain, grâce à une automatisation et une centralisation extrêmes. L'automatisation intégrale a rencontré ses limites du fait de la variabilité industrielle inévitable qui tient aux dérives des matières premières, à l'usure des outils, aux déréglages des capteurs ... Pour des systèmes dont le fonctionnement s'inscrit dans la durée, il se révèle impossible de prévoir et de réaliser le traitement automatique de toutes les sources de variabilité. Ce sont toujours, en fin de compte, des opérateurs humains qui assurent de façon directe ou médiatisée, cette régulation.

Les tentatives d'éviter l'intervention de l'opérateur humain grâce à la multiplicité des circuits de correction et de régulation aboutissent parfois à produire une situation incompréhensible dans le délai normal d'intervention. A Three Mile Island, 3 types de pannes non liées entre elles n'ont ainsi pu être identifiés que de longues heures après l'incident et après observation de données habituellement occultées.

Dans un premier temps, on rappellera quelques caractéristiques essentielles du raisonnement humain, pour souligner ensuite comment elles conditionnent la conception des matériels, des logiciels, de l'organisation du travail et de la formation.

1. Le raisonnement humain

1.1. De l'exploration perceptive au contrôle de l'action

Beaucoup de réalisations industrielles matérialisent une conception du raisonnement humain qui ne correspond pas à sa réalité biologique et psychologique. Lorsque l'on décrit celui-ci sous la forme

signal ⟶ perception ⟶ décision ⟶ action

l'on met en avant une représentation du traitement de l'information, issue de modèles informatiques, qui laisse de côté deux caractéristiques essentielles

de l'action humaine.

La première de ces spécificités est l'exploration perceptive : l'homme recherche des informations combinées selon des structures auxquelles il s'attend. Ces combinaisons structurées répondent aux hypothèses formelles ou informelles qu'il a constituées sur les réalités qu'il explore. L'acquisition de ces structures d'exploration est un des faits saillants de tout apprentissage, qu'il s'agisse de celui de la lecture ou de celui de la surveillance d'un tableau de contrôle. Si cette première caractéristique du raisonnement humain présente tellement d'importance pour le génie industriel, c'est qu'il dépend des bureaux d'études que les informations pertinentes pour la conduite d'un dispositif soient regroupées ou non d'une façon compatible avec les propriétés sensorielles et cognitives des opérateurs. Il dépend également du groupe de projet que les itinéraires d'exploration, de recherche d'informations pertinentes puissent être construits par les opérateurs dans des situations de difficultés croissantes sans provoquer des dérèglements dangereux en cas d'erreur. Le travail préalable sur maquette ou sur modèle est alors souvent nécessaire pour l'élaboration des logiciels. Le but à atteindre est alors d'éviter que l'opérateur se trouve dépourvu de modèles d'exploration en cas de dysfonctionnement grave et inattendu.

La deuxième spécificité du raisonnement humain qu'il convient de mentionner est que toute décision d'action comprend en elle-même une anticipation du résultat attendu, et appelle une rétro-action, un feed-back relatif au résultat réel. La mention de cette propriété n'obéit pas à un souci académique : dans de nombreux dispositifs industriels, l'inertie des appareils est telle que les capteurs existants n'informent l'opérateur du résultat de son intervention que plusieurs minutes, parfois plusieurs heures après celle-ci. Il s'agit là d'une situation dont les inconvénients ne doivent pas être sous-estimés, car elle vient à l'encontre de l'apprentissage et du perfectionnement permanent des stratégies de conduite.

1.2. Modèle mental et représentations

On pourrait décrire les potentialités cognitives d'un opérateur expérimenté comme un ensemble de connections virtuellement disponibles : connections entre, d'une part, des ensembles d'informations prélevées dans la réalité, et, d'autre part, des actions à mener telles que rechercher un complément d'information, intervenir, contrôler le résultat. Ces liens potentiels entre informations prélevées et actions effectuées, sont de deux natures différentes :

- Certains liens sont directs, ce sont des algorithmes : : "S'il se passe ceci, je fais cela". Même si les combinaisons significatives d'informations sont complexes et les actions difficiles à mener, la décision n'est pas difficile à prendre.
- D'autres liens sont plus complexes. Ils font appel à l'abstraction. Ils résultent de la répétition d'expériences voisines mais différentes, voire de connaissances théoriques. Ils permettent de manipuler mentalement la réalité préalablement à toute action et donc d'évaluer différentes hypothèses. Les procédés heuristiques sont souvent plus longs quoique les nécessités de l'action jointes au suivi des événéments préalables puissent réduire considérablement les délais de décision.

Dans une perspective de génie industriel, ce qui est déterminant dans cette description des modalités cognitives humaines est la très grande différence entre les liens potentiellement disponibles et ceux de ces liens qui sont activés à un moment donné. On peut être surpris de constater parfois que certains liens ne semblent pas avoir été mis en oeuvre au moment opportun alors que ces "connaissances" des opérateurs avaient été contrôlées auparavant par divers moyens. Bien que de multiples modalités de liaison entre observations et actions soient disponibles virtuellement parmi les modèles mentaux, les informations prélevées dans la réalité du moment n'activent qu'une partie d'entre elles. Ainsi, la représentation que l'opérateur se fait à ce moment là de la réalité n'est pas

nécessairement celle qui permet de décider les actions appropriées.

Cette différence entre ce qui est virtuellement disponible et ce qui est activé à un moment donné, permet d'expliquer deux grandes catégories de situations critiques :

a) dans certains cas, l'ensemble des informations présentées à l'opérateur n'évoque aucune des configurations qu'il connaît et pour lesquelles il dispose de stratégies appropriées de recherche d'information et d'action. L'opérateur se trouve alors dans une situation de décision sur l'incertain, d'autant plus critique que les risques pour les personnes, l'environnement et la production sont plus grands.

b) Dans d'autres cas, la configuration des informations qui lui arrivent évoquent effectivement une situation connue, pour laquelle il effectue les actions habituelles. Mais l'on constate a posteriori que l'état réel du système technique n'était pas celui que l'opérateur a diagnostiqué, qu'il s'est enfoncé dans un prédiagnostic faux, ne lui permettant pas d'agir efficacement. Le terme d'erreur humaine est alors souvent employé. Il est préférable de lui substituer celui d'"échec", qui met en évidence que si l'opérateur n'a pu disposer sur le moment d'une représentation appropriée, les raisons sont à rechercher en grande partie dans les moyens de travail dont il disposait, qu'il s'agisse des dispositifs de présentation de l'information ou de l'organisation de sa formation.

On souligne ainsi un enjeu essentiel de la conception industrielle : les opérateurs doivent pouvoir disposer à tout moment d'une représentation de l'état du système qui leur permette de décider de la conduite à tenir, dans le cadre de l'organisation collective du travail.

Cette idée directrice est susceptible de guider les choix en matière de conception des dispositifs, d'organisation du travail, et de programmes de formation. Avant de revenir sur les différents points, il est nécessaire de faire apparaître les différences qui existent entre les modèles mentaux des différents intervenants : opérateurs de conduite, de maintenance, ingénieurs de conception ...

1.3. L'orientation par l'action

L'une des propriétés importantes de la structuration des modèles mentaux est qu'elle est fortement orientée par les actions effectuées par la personne concernée, par sa fonction par rapport au système. Des personnes ayant des activités différentes vis-à-vis d'un même système ne s'attachent pas aux mêmes propriétés, aux mêmes aspects. Un exemple classique est celui de l'automobile, qui n'est pas jugée suivant les mêmes critères par le chauffeur de taxi ou le conducteur du dimanche.

Dans la conception industrielle, on est donc amené à tenir compte des différences entre le modèle mental du concepteur, celui de l'opérateur qui aura à conduire la machine, celui des opérateurs de maintenance ...

Les différences qui viennent d'être évoquées ne s'expliquent pas uniquement par les itinéraires scolaires mais dans une large mesure par la place particulière que chacun occupe par rapport au système technique. Ainsi, un automaticien qui conçoit un dispositif, construit une représentation de celui-ci qui est orientée vers son fonctionnement nominal, sans incidents; l'opérateur qui surveille le dispositif s'attache au contraire aux indices annonciateurs d'un dysfonctionnement éventuel, aux conséquences possibles d'un incident.

Chacun des points de vue est donc à la fois partiel, déformant et irremplaçable. L'un des enjeux de la conception est de tirer parti de la richesse que cette diversité représente, en vue de l'adaptation des dispositifs aux caractéristiques cognitives des opérateurs.

1.4. Cerveau humain et ordinateur

Les propriétés du raisonnement humain rappelées plus haut montrent à quel point l'analogie entre le cerveau humain et un ordinateur même perfectionné conduit à des décisions de conception inadéquates. Cette analogie malheureuse est cependant présente en permanence dans le vocabulaire informatique. Il peut être utile de montrer par deux exemples combien les confusions linguistiques sont préjudiciables.

La mémoire humaine ne peut en aucun cas être comparée à celle d'un ordinateur. Les informations présentes en mémoire à court terme sont toujours le résultat d'un filtrage et d'une transformation, qui valorisent certains aspects de la réalité perçue, en fonction du modèle mental de chacun. La mémoire à court terme est, par ailleurs, chez l'homme, d'une capacité extrêmement limitée, et présente une grande sensibilité aux interférences, à la fatigue et aux émotions.

La mémoire à long terme possède cette propriété très particulière qu'il est impossible de savoir si une information se trouve en mémoire ou non. En termes informatiques, elle ne peut jamais être "listée" : l'échec du rappel est souvent, dans ce cas, l'échec de la méthode employée pour retrouver l'information. Ce qui apparaît comme une limite constitue cependant la grande richesse de la mémoire humaine : la possibilité d'accéder, par associations et analogies, à des souvenirs pertinents pour le traitement de la réalité présente.

De même, le langage humain possède des propriétés spécifiques à tel point que certains auteurs ont pu parler d'"organe du langage". L'obligation,qu'introduisent certains dispositifs informatiques, d'utiliser une syntaxe très éloignée de celle du langage naturel, peut parfois induire chez les opérateurs des formes de raisonnement qui ne permettent pas d'élaborer en temps utile les conduites appropriées.

2. Conception des moyens de travail

La brève description de quelques caractéristiques des activités cognitives humaines ne se traduit pas de façon simple dans les divers aspects de la conception industrielle. C'est là une activité essentielle de l'ergonomie.

2.1. Les dispositifs techniques

Qu'il s'agisse d'une unité d'usinage ou d'une installation de la chimie, une même question se pose : comment l'opérateur peut-il à tout moment se construire une représentation exacte de l'état du processus ? Deux catégories d'informations lui sont nécessaires : indications formelles et indices informels.

Les indications formelles sont celles qui sont fournies par les concepteurs par l'intermédiaire de cadrans, d'écrans ... Il existe maintenant un important ensemble de données favorisant l'adaptation de ces dispositifs aux caractéristiques perceptives humaines. Mais, au-delà de la mise en oeuvre de ces recommandations, il subsiste un large champ d'études : comment choisir et regrouper les informations pour qu'elles fournissent à l'opérateur une image du dispositif compatible avec les exigences de la décision pour l'action, avec la structure du modèle mental efficace.

Les indices informels sont prélevés par l'opérateur directement sur l'installation : la couleur d'une flamme, l'état d'une surface le renseignent de façon rapide et synthétique sur le déroulement des opérations. L'information ainsi recherchée est souvent plus immédiate, plus fiable que les indications formelles. Mais, pour que l'opérateur puisse ainsi surveiller des indices précoces d'apparition d'un dysfonctionnement, encore faut-il que la conception de l'installation favorise de telles recherches d'information, trop souvent considérées comme "inutiles", voire "inacceptables" par les concepteurs.

Comme on le note souvent, ces indices informels sont souvent relevés spontanément ou sur la demande des opérateurs des salles de contrôle par les opérateurs travaillant dans l'usine elle-même. Les opérateurs des installations et ceux de la salle de contrôle constituent ainsi un collectif de travail dont le dispositif technique doit favoriser les communications internes et la compatibilité de représentation.

Parmi les enjeux relatifs à l'organisation du travail, on peut en détacher trois : la définition des horaires de travail, la constitution des collectifs de travail et l'élaboration des procédures.

En ce qui concerne les horaires de travail, nous rappellerons seulement le caractère incontournable des rythmes biologiques qui font qu'un travailleur n'est pas dans le même état à toute heure du jour et de la nuit. Si le travail de nuit est toujours défavorable à la santé de ceux qui l'effectuent, il faut aussi souligner ses conséquences sur la production. La mémoire, la vigilance, les stratégies de surveillance ne sont pas équivalentes à toutes heures. Lorsque le travail de nuit est inévitable, ce sont à la fois l'organisation des postes, la détermination des effectifs et la conception des moyens de travail qui doivent tenir compte des variations biologiques nycthémérales.

L'organisation du collectif de travail pose de multiples problèmes de communications. Il est certes nécessaire de favoriser la communication orale, directe ou médiatisée, entre les différents membres du collectif de travail.
Il est certes indispensable d'en tenir compte dans la conception de l'espace et les proximités. Mais, les données relatives à la structuration des modèles mentaux amènent également une autre interrogation : à quelles conditions les modèles mentaux des différents membres du collectif de travail sont-ils compatibles, permettant une communication sans ambiguïté et une collaboration efficace ? Cette compatibilité ne va pas de soi, quand les interlocuteurs sont un opérateur en salle et un soudeur, un opérateur de production et un membre du laboratoire ou du service qualité. La communication entre les différents membres du collectif sera plus facile et plus performante si chacun dispose d'une connaissance suffisante du travail de l'autre, et peut savoir à tout moment dans quelle phase de son activité il est engagé.

L'élaboration des procédures, des consignes ne doit pas sous-estimer l'écart signalé plus haut entre les modèles mentaux des responsables de l'organisation, et ceux des opérateurs. Si, comme c'est souvent le cas, les consignes sont élaborées à partir de la seule vision des responsables, elles se révèlent le plus souvent inadaptées, voire dangereuses. Pour qu'elles remplissent leur rôle de guide, d'aide-mémoire dans les situations délicates, il est indispensable qu'elles soient mises au point au cours d'une confrontation entre les responsables techniques et les différentes catégories d'opérateurs qui auront à intervenir.

2.3. Les programmes de formation

L'enjeu de la formation des opérateurs est de permettre la structuration d'un modèle mental adapté au traitement des problèmes qui peuvent survenir dans le travail. Cet objectif suppose une réflexion précise sur le point de départ, le point d'arrivée et les méthodes de la formation.

Le point de départ de la formation mérite une analyse détaillée lorsqu'on organise un programme de formation aux "nouvelles technologies" pour des travailleurs ayant acquis une expérience importante sur des systèmes plus traditionnels, les savoirs que ceux-ci ont accumulés constituent la base de la nouvelle formation. Il n'est ni possible ni souhaitable de faire table rase de cette expérience qui constitue le meilleur atout pour l'acquisition de nouvelles compétences si le programme de formation sait articuler les nouveaux apports avec les acquis antérieurs. Si malheureusement, les savoirs antérieurs sont niés ou méconnus, il est vraisemblable que le modèle mental correct de la situation nouvelle se construira difficilement.

Le point d'arrivée assigné comme objectif à la formation mérite,lui aussi, de faire l'objet d'un examen détaillé : bien souvent, les responsables de l'implantation d'un dispositif comportant de l'hydraulique, des automatismes, etc ... projettent dans les programmes de formation leur propre représentation des connaissances en hydraulique, en automatique. Or, ces connaissances sont structurées pour permettre le calcul et le conception, et non pour faciliter la conduite et le dépannage. La définition des objectifs de la formation suppose donc une analyse fine de l'activité réelle de conduite ou de maintenance, afin de permettre la structuration chez l'opérateur d'un modèle mental favorisant l'accomplissement de ses tâches spécifiques.

Enfin, les méthodes de formation doivent favoriser de façon permanente la mise en relation entre les actions effectuées dans le travail et les connaissances qui les guident et les justifient. Dans ce sens, conception et formation ne sont pas des démarches disjointes. Ainsi, la participation des opérateurs à certains aspects de la conception et de la réception des moyens de travail constitue un important support à l'action de formation.

Lorsqu'une réflexion précise sur l'adaptation des moyens de travail à l'activité réelle des opérateurs est effectuée, la formation peut jouer pleinement son rôle. Elle ne peut avoir pour objet de compenser ou de masquer des fautes de conception sans aboutir à des résultats incomplets et fragiles en situation critique.

3. Un cas particulier de projet : le transfert de technologie

D'assez nombreuses recherches réalisées dans des pays en développement industriel, ont permis de comprendre pourquoi le taux d'engagement du système technique se situe trop souvent dans ce cas à un niveau faible en comparaison avec le niveau atteint par un système technique analogue installé dans les pays exportateurs. Deux grandes catégories de causes peuvent être distinguées. On note, d'une part, des différences dans la densité du tissu industriel et, d'autre part, des obstacles dans la constitution d'une bonne représentation fonctionnelle dans l'esprit des opérateurs.

3.1. La faible densité industrielle s'exprime de diverses façons : irrégularité des prestations élémentaires : eau, électricité, transports, télécommunications, insuffisance des compétences techniques dans l'entreprise et son environnement immédiat, coût élevé de l'expertise et des fournitures d'urgence. Le résultat de ces difficultés est trop souvent un fonctionnement habituel ou fréquent en mode dégradé.

3.2. Les capacités des opérateurs des P.V.D.I. ne sont pas biologiquement inférieures à celles des opérateurs correspondants des pays vendeurs, elles sont même souvent supérieures du fait de la sélection qui accompagne le privilège de travailler dans une des rares entreprises modernes de la région. Mais ces capacités sont employées en partie à des activités extérieures au travail auxquelles les opérateurs sont contraints par la faiblesse du dispositif social. Plus encore, ces capacités ne sont souvent pas utilisées au mieux du fait de l'organisation formelle du travail transférée avec le dispositif technique sans tenir compte de la dégradation inéluctable du fonctionnement évoquée plus haut. La formation elle-même est trop souvent incomplète (faible transfert des savoirs des services de maintenance ou de communication), imparfaite (traductions partielles et de mauvaise qualité) et inadaptée car elle porte sur un mode d'exploitation qui n'est que rarement celui de l'entreprise dans le pays importateur. A l'inverse, on peut remarquer que la prise en compte des caractéristiques de la situation industrielle et sociale du pays acheteur peut permettre d'obtenir des résultats remarquables grâce aux dispositifs exportés du point de vue de la qualité des produits et des résultats financiers. Toutefois, il est souvent nécessaire de construire avec l'usine, un ensemble technique et social coûteux, une véritable île anthropotechnologique.

4. Vers une démarche cohérente de conception

Ainsi, l'examen de quelques aspects particuliers du fonctionnement industriel montre comment des connaissances sur la spécificité du fonctionnement du cerveau humain peuvent éclairer différentes étapes de conception du dispositif technique.

Pour que le résultat soit satisfaisant, il est nécessaire que la structure du projet elle-même soit élaborée dans la perspective de l'adaptation des moyens de travail aux spécificités humaines.

Sans entrer dans une discussion détaillée sur les structures de projet les plus appropriées, on peut souligner quelques principes essentiels.

4.1. Primauté de l'analyse du travail des opérateurs : le travail qui sera effectué par les opérateurs sur les futures installations n'est pas une donnée immédiate pour les concepteurs. La vision que ceux-ci en ont spontanément est, par nature, partielle et déformée. Une véritable étude est toujours nécessaire pour identifier très tôt dans le projet la nature des tâches de surveillance, de conduite, d'intervention, de réglage, de maintenance ... que les opérateurs auront à effectuer pour assurer la bonne marche du système. Cette réflexion doit être engagée dès les études de base, avant que la conception des moyens de travail ne soit répartie entre différents services et fournisseurs extérieurs.

4.2. Compatibilité entre dispositif technique et cerveau humain

L'adaptation des moyens de travail aux caractéristiques humaines n'est pas seulement ni peut-être principalement un problème social. Comme cela a été souligné dès l'introduction de ce texte, le bon usage des caractéristiques du cerveau humain conditionne en grande partie l'efficacité économique des systèmes de production. Ce constat est particulièrement important quand il s'agit de dispositifs automatisés où il n'existe aucune relation proportionnelle entre la productivité et le volume ou l'intensité du travail humain, mais où la qualité des raisonnements et du jugement des opérateurs assurent un volume et une qualité élevés de production.

Il est donc nécessaire que la phase initiale du projet fournisse à tous les services impliqués dans la conception du nouveau dispositif technique des exigences et des moyens relatifs à l'adaptation du travail à l'opérateur,et assure la cohérence globale des décisions.

4.3. Des opérateurs-concepteurs ?

L'association des opérateurs concernés à certaines phases de la conception ne s'impose pas seulement pour des raisons sociologiques, mais parce qu'ils possèdent sur le fonctionnement des installations un point de vue spécifique qui ne peut être déduit d'aucun de ceux qui sont représentés par ailleurs dans le groupe de projet. Cette association est parfois difficile à réaliser quand certains aspects du dispositif ne sont pas encore entièrement élaborés ou quand des opérateurs expérimentés dans le mode précis de production choisi, ne sont pas disponibles. La participation des ergonomistes paraît là encore utile pour résoudre aussi ce type de difficultés.

QUELQUES LECTURES COMPLEMENTAIRES

- BAILEY R.W. (1983) Human error in computer system PRENTICE HALL ed. ENGLEWOOD CLIFFS N.J. U.S.A.

- DANIELLOU F. (1986) L'opérateur, la vanne, l'écran ANACT ed., PARIS.

- DEJOURS C., VEIL L., WISNER A. Psychopathologie du travail ENTREPRISE MODERNE D'EDITION PARIS.

- KAHNEMAN D. and coll. (1982) Judgment under uncertainty : heuristics and biases CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS CAMBRIDGE MS U.S.A.

- LEPLAT J. (1985) Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail COLIN ed. PARIS.

- MONTMOLLIN M. de (1984) L'intelligence de la tâche PETER LANG ed., BERNE.

- NORO K. (1986) Occupational health in automated factory TAYLOR and FRANCIS ed. LONDRES (à paraître)

- QUEINNEC Y., TEIGER C., DE TERSSAC G. (1985) Repères pour négocier le travail posté UNIVERSITE DE TOULOUSE-LE MIRAIL ed., TOULOUSE.

- WISNER A. (1985) Quand voyagent les usines SYROS ed., PARIS.

ERGONOMIE ET PRODUCTIVITE

DANS LE SECTEUR TERTIAIRE

Ce texte rassemble les notes destinées
à être le support d'une conférence donnée
au SICOB le 7 Avril 1987

La productivité dans le tertiaire ne peut être assimilée complètement à la productivité dans le secondaire, aussi bien dans le domaine de la réduction des coûts que dans celui de la définition de l'objet fourni (service le plus souvent)

Dans le secondaire, un accroissement de la productivité joue sur les facteurs suivants :

- Réduction des frais fixes (aménagement des horaires de travail : travail posté, du week-end, horaires variables). Certains services du tertiaire peuvent être décalés dans le temps pour permettre l'étalement du traitement des données (travail de nuit des services informatiques) pour mieux rencontrer les usagers (travail continu, travail du soir, travail de fin de semaine). Tout cela n'est pas très bon : problèmes sociaux graves, amélioration du service mais parfois accroissement des frais de personnel. D'où le développement du guichet automatique informatisé. Un problème important : l'accès du plus grand nombre. L'ergonomie de l'informatique pour le grand public.

- Amortissement rapide d'investissements de valeur acceptable

- Bureaux paysagers et autres formules d'aménagement variable de l'espace à l'échelle de l'entreprise ou de

l'immeuble. Problèmes parfois difficiles d'insertion répétée du personnel.

- Difficultés avec l'informatique elle-même du fait de modes successives qui ne sont pas seulement informatiques mais aussi organisationnelles. L'image de la compétence des employés évolue sans raison apparente.

- A la fin des années 70 et au début des années 80, on cherche à vendre de grands ordinateurs. Simultanément, on taylorise le travail tertiaire (Banques, Assurances), en méprisant les compétences et en licenciant les travailleurs expérimentés comme étant vieillissants.

- Depuis 5 ans (avec le rôle précurseur de Bruno Lussato), on pratique l'informatique répartie ou individualisée et on déplore la perte ou l'absence des compétences. Cela correspond naturellement à la vente massive des P.C., P.S., B.C., etc ...

- Il n'y a eu guère que des effets assez brutaux d'affirmation plus ou moins commerciales des vendeurs de macro puis de micro-odinateurs en liaison avec la baisse du prix du hard et la grande sophistication du soft. Pas de recherches scientifiques ni même de discussions sérieuses entre informaticiens, organisateurs, et psychologues cognitivistes et ergonomistes.

- Les faits commandent avec l'apparition d'un point de vue ergonomique massif avec APPLE qui permet de représenter la table de travail et est donc d'apprentissage facile en maintenant le même jeu de compétences. Ce n'est pas la seule voie.

- Réduction des frais de personnel

Là, 3 voies - réduction des charges sociales difficiles car solidarité nationale. Le TUC n'est pas une solution aux problèmes de la bureautique sauf si l'entrée dans les appareils s'apparente à celle des entrées grand public (par exemple, pour les photocopieurs). Cela se fait, Pavard chez Kodak.

- Réduction des qualifications. Cela va dans le sens opposé à celui de l'informatique, outil complexe
  . échec dans la Presse
  . échec dans les Banques, Assurances (voir plus haut)

- En fait, ce qui marche, s'est la suppression de certains métiers plutôt que la déqualification des employés (travail des journalistes du New-York Times)

- Réduction des effectifs. Là encore beaucoup d'échecs
  . perte de compétences avec les partants
  . apprentissages longs et difficiles avec les arrivants
  . de façon plus générale, analyse tout à fait insuffisante du travail réel demandé.

Dans le secondaire, l'évaluation de la productivité se fait à propos d'objets dont la définition est assez stable : une voiture, un réfrigérateur, un litre de lait. Toutefois, la voiture de même classe à plus d'accessoires, le réfrigérateur plus de contrôles incorporés et le lait plus de qualité diététique et de conservation.

Dans le tertiaire, il n'y a pas toujours d'objet stable et défini, c'est le plus souvent un service expansible à l'infini.

Peut-être pour des services précis : journal, assurances, circulaire de recouvrement de cotisation,

. oui mais : le journal doit changer du fait de la concurrence des médias, de l'extension de l'information, des concentrations, finalement de la situation financière difficile de la presse

- l'assurance à des charges supplémentaires pour l'Etat et la collectivité : assurances catastrophes naturelles, attentats, etc ...

- circulaire de recouvrements, oui mais beaucoup de conflits liés au caractère aveugle du mécanisme - les conflits sont difficiles à règler.

Dans d'autres cas, l'accroissement de productivité est absorbé, et plus par celui des services rendus

- signification douteuse de la lettre personnalisée
- accroissement massif des supports d'information concurrents.

Dans beaucoup de cas, baisse importante des services rendus
- Erreur des banques
- des services des impôts
- difficultés pour obtenir des renseignements
  . téléphoniques
  . des trains, etc ...

Dans le tertiaire, il n'y a pas toujours d'objet stable et défini, c'est le plus souvent un service expansible à l'infini.

Peut-être pour des services précis : journal, assurances, circulaire de recouvrement de cotisation,

. oui mais : le journal doit changer du fait de la concurrence des médias, de l'extension de l'information, des concentrations, finalement de la situation financière difficile de la presse

- l'assurance à des charges supplémentaires pour l'Etat et la collectivité : assurances catastrophes naturelles, attentats, etc ...

- circulaire de recouvrements, oui mais beaucoup de conflits liés au caractère aveugle du mécanisme - les conflits sont difficiles à règler.

Dans d'autres cas, l'accroissement de productivité est absorbé, et plus par celui des services rendus

- signification douteuse de la lettre personnalisée
- accroissement massif des supports d'information concurrents.

Dans beaucoup de cas, baisse importante des services rendus

- Erreur des banques
- des services des impôts
- difficultés pour obtenir des renseignements
  - . téléphoniques
  - . des trains, etc ...

- Réduction des frais de personnel

Là, 3 voies - réduction des charges sociales difficiles car solidarité nationale. Le TUC n'est pas une solution aux problèmes de la bureautique sauf si l'entrée dans les appareils s'apparente à celle des entrées grand public (par exemple, pour les photocopieurs). Cela se fait, Pavard chez Kodak.

- Réduction des qualifications. Cela va dans le sens opposé à celui de l'informatique, outil complexe
  . échec dans la Presse
  . échec dans les Banques, Assurances (voir plus haut)

- En fait, ce qui marche, s'est la suppression de certains métiers plutôt que la déqualification des employés (travail des journalistes du New-York Times)

- Réduction des effectifs. Là encore beaucoup d'échecs
  . perte de compétences avec les partants
  . apprentissages longs et difficiles avec les arrivants
  . de façon plus générale, analyse tout à fait insuffisante du travail réel demandé.

Dans le secondaire, l'évaluation de la productivité se fait à propos d'objets dont la définition est assez stable : une voiture, un réfrigérateur, un litre de lait. Toutefois, la voiture de même classe à plus d'accessoires, le réfrigérateur plus de contrôles incorporés et le lait plus de qualité diététique et de conservation.

Résultat global certainement positif. Résultats particuliers très variables. L'évolution des services rendus au public doit être évaluée avec précision et contrôlée. les difficultés doivent faire l'objet d'études ergonomiques précises de production de service.

Dans beaucoup de cas, on n'a pas fait

- d'analyse des cours d'action où s'inscrit l'informatique
- d'étude des contraintes pragmatiques (espace bureau-informatique)

- des conséquences sur la façon de traiter les questions, le modèle computationnel.

L'amélioration de la productivité dans les secteurs tertiaires passe par une meilleure connaissance de l'activité cognitive et des besoins du client et de l'activité cognitive et des contraintes de l'employé. Client et employé dialoguent en effet à travers écrans, imprimés et produits. Le dialogue est encore trop difficile et coûteux.

DIVERSITE DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

CONSEQUENCES ERGONOMIQUES

Ce texte terminé en Avril 1987 est la version française d'un article qui sera publié en anglais dans le n° d'Octobre 1989 de la revue INDUSTRIAL ERGONOMICS

Les mesures anthropométriques sont parmi les premières données que l'ergonomie naissante a utilisées il y a 40 ans. Toutefois, ces données provenaient presque exclusivement de sources militaires des pays membres de l'OCDE. Actuellement, les échanges économiques se sont généralisés aux pays en voie de développement industriel (P.V.D.I.), mais ces échanges ne sont pas satisfaisants à beaucoup de points de vue. On se bornera ici à celui de l'ergonomie. Trop souvent, les systèmes techniques, les machines, les produits transférés ne correspondent pas aux caractéristiques des populations des P.V.D.I. Ces caractéristiques sont en effet ignorées. Les références auxquelles il est fait appel dans ce texte proviennent des sources les plus diverses, le plus souvent mal connues parfois dans le pays même où elles ont été recueillies. Beaucoup d'autres mesures ont certainement été prises mais n'ont pas été connues de l'auteur. Plus encore, ces données anthropométriques n'ont fait que très partiellement l'objet d'analyses permettant de déceler l'influence systématique de l'âge, du sexe, des conditions socioprofessionnelles, de l'état de santé sur les caractéristiques des personnes observées. Seules des considérations ethniques ont été développées. On verra que les catégories ethniques sont souvent peu pertinentes du point de vue ergonomique car, en usine comme les magasins, les ethnies sont souvent mélangées du fait de la vie sociale et des nécessités économiques. Enfin, on verra que les sources militaires ne sont pas toujours utilisables, car suivant le système de valeurs en vigueur dans chaque pays, le soldat est tantôt un professionnel bénéficiant de privilèges nutritionnels et de mode de vie, tantôt un homme défavorisé qui n'a pu échapper à la conscription et mène une vie difficile.

On étudiera successivement les caractéristiques physiques générales et leurs conséquences sur les dimensions segmentaires et le dessin des postes de travail, puis la puissance de travail et ses effets sur la pénibilité des tâches.

I.0. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES GENERALES.

Les données les plus facilement obtenues sont la taille debout et le poids. Ces valeurs ne sont pas directement utilisables mais on verra plus loin qu'il est possible de s'en servir pour évaluer les données nécessaires pour construire la situation de travail et organiser l'activité.

Tildesley (1950) analysant des résultats portant sur 296 échantillons de populations indigènes du monde évalue la taille moyenne à 1650mm. Roberts (1975) utilisant les résultats portant sur 1200 échantillons de populations européennes et africaines propose une taille moyenne de 167,1, plus élevée puisque l'évaluation ne considère pas les populations d'Asie du Sud et de l'Est qui sont nombreuses et de petite taille.
En fait, des données aussi générales ne sont que des curiosités dans le domaine ergonomique qui exige le plus souvent des recommandations précises et adaptées.

Les caractéristiques anthropométriques des peuples paraissent être immuables et spécifiques. En fait, les ergonomistes ont depuis longtemps été amenés à considérer qu'au sein d'un même pays, l'âge, le sexe, le milieu social et les variations séculaires devaient être considérés si l'on souhaitait par exemple adapter un poste de conduite de voiture à la grande majorité de ses utilisateurs (Wisner et Rebiffé, 1963a et b).

L'étude des dimensions dans les différentes populations de la terre fait apparaître de telles sources de variation en même temps que celles qui sont d'origine ethnique. Comme on le verra, les différences ethniques ne sont pas toujours d'origine génétique et les différences sociales d'origine nutritionnelle.

1.1. INDE

Une étude approfondie sur ces divers facteurs ne peut être réalisée sur l'ensemble des populations mondiales faute de données de base. Le seul pays en développement industriel où il paraît possible de vérifier ce qui a été vu dans les pays industrialisés est l'Inde qui est à la fois une grande puissance économique et un pays de haut développement scientifique.On a considéré ici quelques unes des 44 références provenant pour plus de la moitié de R.N. Sen et de son élève P.K. Nag. Pour des raisons complexes, les échantillons étudiés sont souvent peu ou très peu nombreux et leur représentativité par rapport à la population étudiée n'est pas assurée. Il est probable que les personnes étudiées dans les échantillons sont souvent en meilleure condition physique que la moyenne de la population, car il est souvent précisé qu'il s'agit de travailleurs jeunes et en bonne santé apparente, ce qui, par définition exclut les personnes sans emploi, âgées ou malades.

Dans la plupart des cas, la signification des résultats est accrue de façon convaincante par le fait que l'étude comprend l'analyse du travail des personnes étudiées et une description évocatrice de leur condition de vie, des situations dans lesquelles les mesures ont été effectuées. La plupart des mesures ont été pratiquées dans le Nord de l'Inde.

Le tableau I résume les résultats obtenus par les auteurs indiens sur leurs concitoyens.

L'homme agriculteur indien (habituellement un paysan pauvre) a une taille moyenne de 157 cm et un poids moyen de 39 kg. Il existe une légère tendance à un poids plus élevé de 1 à 2 kg chez les jeunes (20 - 29 ans) (Nag P.K. (1981).

L'ouvrier industriel indien a une taille moyenne de 164 cm et un poids moyen de 55 kg (Sen R.N., Sarkar D.N., 1979). Il s'agit là d'une différence considérable avec les paysans pauvres. On ne note habituellement dans les pays industrialisés qu'une différence de 1 à 2 cm. L'explication de la grande différence indienne peut être trouvée peut-être dans une différence génétique liée au système des castes mais, plus probablement, dans un niveau de vie et surtout d'alimentation des grandes villes industrielles du Nord. Peut-être peut-on trouver une indication de la relative aisance alimentaire des ouvriers dans le fait que, dans l'un des échantillons étudiés, les hommes vieillissants (40-59 ans) ont un poids moyen plus élevé (62 kg) que les jeunes (20-29 ans) qui ne pèsent que 54 kg.

Les ouvriers qui n'appartiennent pas à l'industrie urbaine ne sont pas aussi favorisés. Par exemple, les réparateurs de voie de chemin de fer mesurent 163 cm et pèsent 48 kg (Nag P.K. et coll., 1985), et les mineurs de Dhanbad mesurent 161 cm et pèsent 49 kg (Chakraborty and coll., 1979). On remarquera qu'en Afrique du Sud, Strydom recommande de n'embaucher aucun mineur pesant moins de 50 kg (Strydom et coll., 1971). D'autres employés des mines de Dhanbad, les sauveteurs sont en meilleure situation (H = 170 cm, P = 62 kg), malheureusement leur entraînement ne paraît pas à la hauteur de leurs conditions de vie et d'alimentation comme le montre leur faible puissance aerobie par kg de poids (Guharay et coll., 1979).

Les hommes qui, dans diverses parties du pays, exercent un travail de force (pousseurs ou tireurs de véhicules, porteurs) sont de la taille des ouvriers (164 cm), mais moins lourds (50 kg) (Datta et coll., 1983).

Dans les milieux sociaux plus aisés, la taille est plus élevée. Pour divers groupes d'étudiants, la taille moyenne est de 167 cm et le poids de 53 kg (Bandopadhyay, Chattopadhyay, 1981). La différence de taille entre ouvriers et étudiants est analogue à celle que l'on trouve dans les pays industrialisés. La taille moyenne d'un groupe d'étudiantes est de 155 cm et le poids de 49 kg (Oberoï et coll., 1983).

En Inde comme dans beaucoup de pays en développement industriel, les soldats constituent un groupe situé très favorablement : H = 168 cm et P = 59 kg (Sengupta et coll., 1977).

Pheasant (1986) adopte 164 cm comme taille moyenne de l'homme indien et 151,5 cm pour la femme indienne, sur la base de certains travaux de R.N.Sen. Les valeurs conviennent aux ouvriers mais sont trop élevées pour les paysans et trop faibles pour les personnes apparaissant à la classe moyenne. Ces remarques ne sont pas sans conséquences du point de vue ergonomique selon que l'on prépare un matériel qui sera utilisé par des paysans pauvres, des ouvriers ou des gens aisés.

1.2. ASIE DU SUD-EST

En Indonésie, on dispose de renseignements moins nombreux, mais cependant significatifs grâce à A. Manuaba (1976), Sum'amur (1985), Hattori et coll.,(1985) et Hyodo (1985). On note presque toujours une taille un peu plus élevée à Bali

Table I DIVERSE MALE INDIAN GROUPS

(after 44 indian references)

POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min
Young agricultural workers	131 74	27 22.23	157 157	45 46	1.50	7 ? 7	42 43	1.91 2.01	42 44	184
Country working people of eastern India	192	21	161	46		4	44			
Miners	154	31	161	49				1.9	39	
Railway track maintenance	50	30	163	48				1.9	40	
Load carriers Sherpas	 11	30 28	164 160	50 54	 158	 7	 50	2.3 3.8	44 73	
Industry workers	2460	35 ?	164	55				2.3	41	
Students	352	2	167	53				2.5	41	
Soldiers	10	26	168	59				2.7	45	197
Mine rescue workers	40	32	170	62				1.8	29	180

qu'à Java sans que cette différence soit nécessairement significative. Les paysans sont les plus petits 162 cm à Bali, 160 cm (et même parfois 157 cm) à Java, avec un poids voisin de 50 kg. Les travailleurs de force des campagnes ont à peu près la même taille que les paysans : 161 à 162 cm, mais un poids un peu plus élevé (53 kg). Les habitants des villes ont en moyenne 163 cm à Java et 164 cm à Bali et pèsent aussi en moyenne 53 kg. Les membres de la classe moyenne ont une taille moyenne qui dépasse 168 cm et pèsent de 60 kg quand ils sont jeunes à 70 kg quand ils sont plus âgés. On retrouve donc en Indonésie les mêmes différences qu'en Inde, avec peut-être une taille et un poids relatifs plus favorables aux villageois. Les tailles des femmes indonésiennes se situent de façon analogue à celles des hommes en fonction du milieu social. Les villageoises mesurent 148 cm et pèsent 44 kg, les habitantes des petites villes mesurent 153 cm et pèsent 45 kg et celles des grandes villes mesurent 154 cm et pèsent 50 kg. Les ouvrières mesurent environ 152 cm avec un poids de 45 kg.
En Thaïlande, White (1964) observait une taille moyenne de 163 cm et un poids moyen de 56 kg chez les soldats. Chautipunt (1984) note une taille de 164 cm et un poids de 52 kg chez les ouvriers d'une fonderie dont les ouvrières mesurent 156 cm et pèsent 49 kg.
Au Vietnam, Bui-Thu et coll. (1971) notent une taille de 158 et un poids de 48 kg chez les travailleurs du Vietnam du Nord, alors que les travailleuses mesuraient 150 cm et 44 kg.
Ces valeurs particulièrement basses sont corroborées par les résultats obtenus par White (1964b) sur les soldats du Vietnam du Sud : taille 161 cm et poids 51 kg et par ceux obtenus par Philippe (1976) sur des Sud-vietnamiens étudiants à Paris : taille 162 cm et poids 50 kg.

Les dimensions des citoyens des autres pays de la péninsule indochinoise se rapprochent un peu plus de celles des Thaïlan-

dais. Philippe (1976) trouve ainsi chez les laotiens étudiants à Paris une taille de 163 cm et un poids de 55 kg et chez les étudiants cambodgiens une taille de 165 cm et un poids de 57 kg. Une étude de Ong T.C. et de Suthy S.P. (1986) donne des résultats sur 255 hommes de Singapour dont l'origine ethnique est diverse comme celle de cette ville-Etat : chinois, indiens et malais. L'âge moyen était de 28 ans, la taille de 166 cm et le poids de 61 kg.
En Papouasie Nouvelle Guinée, Hornabrook (1977) note une taille moyenne de 163 cm et un poids moyen de 59 kg chez les villageois et une taille de 154 cm et un poids de 52 kg chez les femmes.

1.3. ASIE DE L'EST

On possède très peu de données sur la Chine. Un échantillon de 263 adultes âgés de 20 à 59 ans avait une taille de 165 cm en 1972 dans le district de Chang-Ping de la Province de Chin-Chuan. Une population chinoise très différente a été mesurée par Lee (1981) celle des hommes de 22 à 55 ans habitant Hong-Kong qui ont une taille moyenne de 168 cm.
Une étude de Kay (1961) donne une taille de 164 cm et un poids de 50 kg pour les militaires de Corée du Sud.

Le cas du Japon est du plus grand intérêt car il a été suivi depuis longtemps de façon scientifique et montre l'influence massive du développement économique sur la consommation alimentaire et la transformation biologique. Comme le montre Suzuki (1981), le revenu du consommateur japonais moyen a été multiplié par 6 depuis le début du siècle, avec un effondrement pendant les années 40. La consommation alimentaire qui était de 2200 Kcal entre 1930 et 1940, s'est abaissée à 1500 Kcal en 1946 pour remonter rapidement, puis plus lentement

vers un plateau situé vers 2500 Kcal depuis 1970. La consommation de protéines se situe vers 55 g par jour entre 1930 et 1940, se réduit à 35 g en 1946 pour remonter de façon continue jusqu'à dépasser 80 g en 1980.

Simultanément, la taille moyenne maximale des jeunes gens passe de 161 cm en 1949, à 170 cm en 1979, et celles des jeunes filles de 151 cm en 1949 à 158 cm en 1979. La taille maximale atteinte chez les garçons à 24 ans en 1949 est atteinte à 19 ans en 1979. Cette croissance très rapide s'est ralentie récemment. Certains auteurs envisagent même une taille plafond pour les japonais. Cette notion de taille plafond a déjà été évoquée pour d'autres peuples quand la croissance s'est ralentie, mais elle ne s'est pas vérifiée. En effet, comme l'écrit Suzuki "en prévoyant la taille corporelle, on doit apprécier la contribution des facteurs héréditaires et d'environnement pendant le processus de développement. Par exemple, la taille du corps de la mère, son état nutritionnel et sa santé, au sens large du terme, peuvent influencer l'état du foetus". Or, même au Japon, les possibilités d'amélioration de ces facteurs ne sont pas épuisées.

On peut corroborer les résultats de Suzuki par ceux d'Oshima (1965) qui ne trouvait qu'une taille de 165 cm et un poids de 61 kg chez les pilotes militaires japonais. Hyodo (1985) compare les étudiants de 1932 (taille 163 cm, poids 56 kg) à ceux de 1982 (taille 172 cm, poids 62 kg) et les étudiantes de 1932 (taille 152 cm, poids 50 kg) et de 1982 (taille 158 cm, poids 52 kg). On peut rapprocher les résultats de 1932 et ceux de 1949 car c'est pendant cette dernière période que s'effaçaient au Japon les effets nutritionnels et anthropométriques de la Deuxième Guerre Mondiale. On notera les mêmes différences de 9 cm entre les périodes extrêmes avec un décalage vers le haut pour les étudiants, ce qui est

général dans tous les pays.

La grande leçon qui peut être tirée de l'évolution de la population japonaise est que la taille des "peuples petits" comme ceux d'Asie du Sud et de l'Est, n'est en aucune façon immuable comme le montre d'ailleurs, dans chacun de ces pays, la grande taille des jeunes gens des classes favorisées.

Si l'ergonomiste doit aujourd'hui tenir le plus grand compte de la diversité des dimensions corporelles des divers pays du monde, l'anthropologie peut annoncer une relative homogénéisation par les croisements génétiques et surtout une plus grande égalité dans le développement économique, et des ressources alimentaires et sanitaires. Le médecin, par contre, demeurera réservé car s'il n'y a guère de relations négatives entre santé et petite taille, les troubles lombaires s'accroissent au contraire avec la taille. Par ailleurs, la force physique est, comme on le verra, sans rapport avec la taille.

1.4. AFRIQUE NOIRE

Les données anthropométriques sur l'Afrique Noire sont très hétérogènes. L'Afrique est un continent immense et divers. Il n'existe que très peu de spécialistes locaux de l'anthropologie physique, de telle sorte que les données ont été recueillies selon des perspectives multiples : nutritionnelles, médicales, industrielles.

Il existe, en Afrique, une grande diversité ethnique. On note des groupes de petite taille : les hommes Twa, pygmées du Zaïre, mesurent 160 cm et pèsent 51 kg (Ghesquière, 1972). Les Bushmen d'Afrique du Sud, comme les Pygmées, sont génétiquement différents des autres populations mais leurs conditions de vie et de nourriture précaires influencent leurs caractéristiques anthropométriques. Il semble que le changement de

leur environnement, depuis 50 ans, se soit accompagné d'un accroissement de la taille et du poids (Tobias, 1972).

A l'opposé, au Tchad et au Soudan, on note des tailles très élevées, Hiernaux (1972) note à Fort-Archambault, comme dans un village (Ndila), une taille moyenne de 175 cm chez les hommes Sara-Majingay. Des recherches multiples et de haute qualité permettent de connaître assez bien la diversité des populations soudanaises selon le milieu social (Awad El-Karim et coll., 1981; Collins et coll., 1976; Ballal et coll., 1982; etc ...). Les paysans mesurent en moyenne 170 cm et pèsent 57 kg. Les paysannes mesurent 157 cm et pèsent 44 kg. Les travailleurs urbains mesurent en moyenne 172 cm et pèsent 62 kg. Les étudiantes en éducation physique mesurent 152 cm et pèsent 56 kg. Les étudiants en médecine mesurent 177cm et pèsent 62 kg. On retrouve donc au Soudan, pour une population généralement de grande taille, les mêmes relations entre milieu social et taille, qu'en Inde ou en Indonésie. Les soldats de métier se situent de façon privilégiée au Soudan comme ailleurs : taille 173 cm, poids 62 kg.

Le reste des données que l'on possède sur les pays d'Afrique Noire situe la taille moyenne à 168 cm pour les hommes. Toutefois, on retrouve toujours la marque du niveau social quand les données existent. C'est ainsi qu'au Nigéria, Ojikutu et coll. (1972) trouvent une taille moyenne de 169 cm et un poids moyen de 62 kg pour les villageois aussi bien que pour les ouvriers, mais les étudiants mesurent 173 cm et pèsent 69 kg, alors que les étudiantes mesurent 161 cm et pèsent 51 kg diantes mesurent 161 cm et pèsent 51 kg.

Au Zaïre, Ghesquière (1972) trouve dans les villages une taille moyenne de 168 cm et un poids de 59 kg. Les ouvriers ont des caractéristiques voisines, 168 cm et 57 kg.

Par contre, les étudiants mesurent 172 cm et pèsent 62 kg. Les champions de football mesurent aussi 172 cm mais pèsent 66 kg. Les traces sociales sont perceptibles dès l'école. A Kinshasa, à 11 ans 1/2, les écoliers aisés mesurent 143 cm et pèsent 35 kg, les plus pauvres mesurent 132 cm et pèsent 27 kg. A 17 ans, on note une différence entre les jeunes gens, selon qu'ils habitent Kinshasa (162 cm, 52 kg) ou un village (154 cm, 47 kg). A 17 ans, les jeunes filles présentent des différences analogues : milieu urbain aisé (162 cm, 53 kg), milieu urbain pauvre (158 cm, 48 kg), milieu rural (155 cm, 47 kg).

Dans l'Est de l'Afrique Noire au Sud du Soudan, on note chez les villageois une taille moyenne de 169 cm et un poids moyen de 55 kg, en Ethiopie,(Lange-Andersen, 1972), un poids moyen de 58 kg au Kenya,(Prampero et Ceritelli, 1969) une taille moyenne de 166 cm au Malawi (Nurse, 1974), une taille moyenne de 165 cm et un poids de 54 kg en Tanzanie (Davies, 1979).

On remarquera que dans les villages, le poids n'est pas constant, compte tenu des faibles ressources alimentaires et du travail intensif de la saison des pluies. Pendant cette dernière, Brun et Bunny, (1979) notent en Burkina-Fasso, une baisse moyenne de poids de 2 kg chez les femmes jeunes (53 > 51 kg) et âgées (48 > 46 kg), et chez les hommes âgés (59 > 57 kg). Cette différence atteint 3 kg chez les hommes jeunes (61 > 58 kg).

En toutes saisons, pour les deux sexes, le poids des personnes jeunes (20-39 ans) est plus élevé que celui des personnes plus âgées (40-59 ans). L'ensemble de ces phénomènes est très caractéristique des populations vivant aux limites des ressources alimentaires.

La population noire d'Afrique du Sud est connue de façon très remarquable pour un groupe humain très particulier : les mineurs bantous des mines d'or. Ces mineurs constituent un groupe très homogène du fait de la sélection très sévère qui exclut en particulier les hommes pesant moins de 50 kg (Strydom et coll., 1971). La taille moyenne des mineurs est de 168 cm (Morrisson et coll., 1968). Leur poids au recrutement est de 57 kg et atteint 61 kg après entraînement (Wyndham et coll., 1962). Ce fait important sera commenté plus loin. La taille moyenne des exclus de moins de 50 kg est de 158 cm et leur poids de 47 kg. On ne connaît pas les dimensions des femmes bantoues. Il n'y a pas de différence significative entre ethnies bantoues (Pedi et Venda; Van Graan et coll., 1972).

L'étude des mineurs d'or Bantous a été menée par le Human Sciences Laboratory Transvaal and Orange Free State Chamber of Mines - Johannesburg - Transvaal dirigé successivement par C.H. Wyndham et N.B. Strydom. Dix huit articles publiés de 1963 à 1972 ont été étudiés, alors que, pour le reste de l'Afrique Noire, on n'a disposé que de treize articles publiés par des auteurs divers de 1969 à 1982. La part de C.T.M. Davies et de ses élèves y est importante.

1.5. AMERIQUE LATINE

L'anthropométrie de l'Amérique Latine est mal connue sauf pour le Mexique qui possède une grande école d'anthropologie. Les ouvriers de l'industrie pharmaceutique de la région de Mexico mesurent 164 cm (Casillas et Vargas, 1979) et ceux de l'industrie textile de la même région mesurent 161 cm (Cuellar et coll., 1980), les travailleurs "mestizos" de Jalapa 162 cm et ceux de Cordoba 159 cm (Faulhaber, 1976). On peut rappro-

cher ces données de celles obtenues par Comas (1977) dans un village Maya : taille moyenne 153 cm (voir aussi Comas, 1966). On voit apparaître à nouveau un phénomène fondamental et d'autant plus vrai que le pays est plus pauvre : le paysan pauvre est le plus petit et le plus maigre, la taille et le poids s'accroissent avec l'industrialisation et l'urbanisation. De façon plus précise, dans la vie urbaine, la taille et le poids s'accroissent selon l'échelle des catégories socioprofessionnelles. Les travailleurs de l'U.N.A.M. (Université Nationale) mesurent 164 cm (Casillas et coll., 1978) et le personnel universitaire d'un Institut de l'UNAM 172 cm (Casillas et Vargas, 1979). Les étudiants en médecine mesurent 169 cm à 20 ans (Casillas et coll., 1978) et 170 cm à 25 ans (Vargas et coll., 1979).

Au Brésil, on sait seulement grâce à Siqueira (1976) que les travailleurs de la zone industrielle de Sao Paulo mesurent 168 cm. Cette différence avec les travailleurs de la région de Mexico s'explique à la fois par des raisons ethniques et nutritionnelles. Par contre, Newman trouve en 1962 une taille de 154 à 159 cm dans diverses tribus indiennes de l'Amazonie, Baker (1966) une taille de 159 cm et un poids de 59 kg chez les indiens Warao. Là encore, les causes ethniques de la petite taille rejoignent les causes nutritionnelles en relation avec la survie difficile de ces tribus.

A côté de ces données, on peut noter les mesures prises par Dobbins et Kindick (1967) sur des militaires appartenant à 18 pays d'Amérique Latine en stage aux U.S.A. : taille : 166 cm et poids : 63 kg. Il serait intéressant de connaître le mode de sélection de ce type de population pour donner leur pleine signification à ces données.

1.6. POURTOUR MEDITERRANEEN ET PAYS VOISINS

Il peut paraître singulier de ne pas distinguer en trois paragraphes distincts les africains du nord, les européens du sud et les asiens de l'Extrême Ouest (Proche Orient).

En fait, une histoire commune, de grandes analogies climatiques et des origines ethniques voisines (indo-européennes) déterminent des caractéristiques anthropométriques très voisines chez les peuples de la région méditerranéenne. On note que la taille des jeunes travailleurs est identique (169 cm) en Algérie (Bourlière et Parot (1962), Chamla (1972), Rebiffé (1974); en Egypte (El Ghawabi, 1978); au Maroc (Rebiffé, 1973); en Tunisie (Rebiffé, 1974, Sahbi, 1985).

En Europe du Sud, on trouve des valeurs analogues : 170 cm chez les soldats grecs (Hertzberg, 1963), 171 cm chez les soldats italiens (Hertzberg, 1963) mais seulement 168 cm chez les ouvriers du même pays et 157 cm chez les ouvrières (Locati, 1973), 169 cm chez les soldats turcs (Hertzberg, 1963), 167 cm chez les soldats iraniens (Noorani, 1971), 168 cm chez les sidérurgistes du même pays (Shahnawaz et Tuxworth, 1977), mais 164 cm seulement chez les paysans pauvres iraniens (Brun et coll., 1979).

En Espagne, Rebiffé (1974) trouve 167 cm chez les ouvriers et Commalo-Malo (1965) 157 cm chez les ouvrières. Ainsi, les espagnols paraissent-ils un peu plus petits, toutefois l'influence du milieu socioprofessionnel, de l'origine régionale et de la tendance à l'amélioration du niveau de vie doivent rendre circonspect. Les valeurs trouvées il y a déjà longtemps par Pimentel chez les paysans pauvres du Nord du Portugal (164 cm), chez les travailleurs de Porto (165 cm) sont à rapprocher des valeurs qu'il trouvait chez les jeunes gens de Lisbonne (167 cm) et de celles que Rebiffé constatait

en 1970 dans une population de travailleurs d'âges divers (167 cm).

A l'opposé, les valeurs trouvées en France sont relativement plus élevées : aviateurs de Ducros (1955) : 171 cm, population générale masculine (172 cm) et féminine (160 cm) des acheteurs de voitures mesurés en 1982 par Rebiffé et coll.. En fait, si l'on considère plus particulièrement les ouvriers des régions méditerranéennes françaises, on trouve environ 170 cm.

Il est ainsi possible d'affirmer que les ouvriers des pays de la région méditerranéenne (prise dans son sens large) ont une taille moyenne de 169 cm avec des valeurs extrêmes de 167 cm pour le Portugal et de 170 cm pour la France méditerranéenne, ce qui représente une homogénéité anthropométrique remarquable.

1.7. PAYS INDUSTRIALISES DU NORD DE L'EUROPE ET DE L'AMERIQUE

Le champ de la présente étude ne comporte pas l'analyse approfondie des données anthropométriques abondantes et souvent décrites provenant des pays industrialisés du Nord de l'Europe et de l'Amérique du Nord. On pourra se reporter en particulier au livre de Pheasant (1986) où cet auteur présente les connaissances sur les britanniques de tous âges (hommes adultes 1740mm, 74,5 kg, femmes 1610 mm, 62 kg), sur les américains (hommes adultes U.S. 1750 mm, 78,4 kg, femmes 1625mm, 64,7 kg) les allemands (hommes adultes 1745 mm, 76,2 kg, femmes 1635mm) les suédois (hommes 1740 mm, femmes 1640 mm, 59,3 kg), les polonais (hommes 1695 mm, femmes 1575 mm)

1.8. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENCANT LA TAILLE

Les données régionales et nationales telles qu'elles ont été présentées plus haut laissent penser que les différences sont

d'abord ethniques. En fait, des remarques déjà anciennes montrent par exemple qu'en une ou deux générations, les japonais émigrés aux Etats-Unis, les indiens émigrés en Grande-Bretagne, les maghrébins émigrés en France acquièrent une taille comparable à celle des originaires de leur pays d'adoption. Les évolutions se voient également à l'échelle nationale en relation avec l'accroissement du niveau de vie.

L'accroissement de la taille entre 1880 et 1960 a été d'environ 1 mm par an dans l'ensemble des pays industriels (Tanner,1966). Pour le Japon, la variation a été particulièrement rapide de 1957 à 1967 : 3,3mm par an et encore très forte de 1967 à 1977 : 1,9mm par an. La question de savoir s'il existe un plafond à cette croissance, en fonction des potentialités génétiques de chaque peuple, est assez académique et encore très discutée.

Quand on mesure la taille d'une population en fonction des différentes tranches d'âge, on trouve une baisse avec l'âge jusqu'à 50 ans qui correspond à l'accroissement séculaire de la taille. Au-delà de 50 ans, la baisse est plus marquée du fait d'altérations ostéo-articulaires. Dans les milieux pauvres des pays en développement industriel, on ne note pas de croissance séculaire mais la baisse de taille liée aux altérations ostéo-articulaires est plus précoce.

L'augmentation de poids avec l'âge est un phénomène propre aux pays riches et aux milieux riches des pays pauvres. Sahbi l'a bien montré à propos des mineurs tunisiens et britanniques (fig. 1).

La différence de taille entre hommes et femmes est de 6 à 8 %. En fait, cette relation devrait être connue avec plus de précision si les échantillons d'hommes et de femmes étaient bien appariés, ce qui est rare.

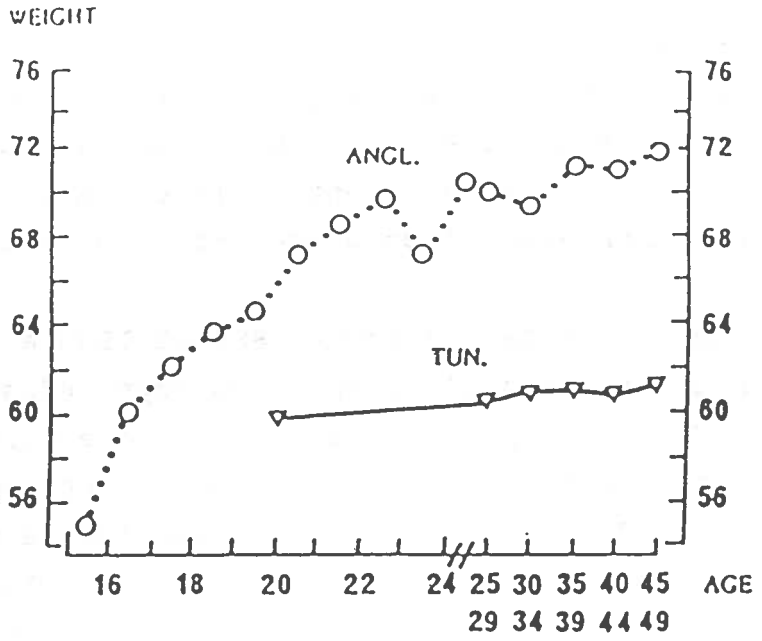

Fig. 1 WEIGHT RELATED TO THE AGE OF ENGLISH MINERS (Ward, 1952-1962) COMPARED TO TUNISIAN MINERS (1981) (after Sahbi 1985)

Les différences de taille entre milieux socio-professionnels sont des phénomènes classiques (Trémolières et Boulanger (1950) mais que les statistiques des divers pays et les études anthropométriques ne mettent pas toujours en évidence. Une étude récente de Rebiffé (1983) sur la population française montre des différences importantes (tableau II), puisqu'elles dépassent 7 cm entre groupes extrêmes. On peut comparer ces différences avec celles qui ont été observées au Soudan (8 cm), en Indonésie (9 cm), en Inde (10 cm) et au Mexique (10 cm).

A l'intérieur d'un pays de surface moyenne, fortement et anciennement centralisé comme la France, Rebiffé trouvait en 1982 des différences régionales notables (tableau III). La différence maximale est de 4,5cm entre le Nord et l'Ouest, différence explicable probablement par la diversité ethnique et le degré d'urbanisation. On peut rapprocher ces données de celles de Malhotra (1966) qui montrent (fig. 2) une différence moyenne de 6 cm entre la stature moyenne des hommes du Sud de l'Inde (163,5cm au Kerala et à Madras) et ceux du Nord (168,5 au Pundjab et à Delhi). Pour Malhotra, la différence de taille s'explique par une alimentation très inégale : 2.100 calories et 62 gr de protéines au Sud, 3.300 calories et 91 gr de protéines au Nord. En fait, l'effet de l'amélioration de l'alimentation sur la taille agit au cours de la gestation, de l'enfance et de l'adolescence, et probablement pendant plusieurs générations. Or, dans certaines régions de France, en particulier à l'Ouest et au Centre, une partie de la population vivait au début du XXe siècle comme les classes pauvres des pays en développement contemporains. Pour des raisons historiques, sociales et culturelles complexes, l'augmentation générale du niveau de vie a déterminé des changements alimentaires et des modifications anthropométriques d'apparition plus ou moins rapides selon le pays et la région du pays.

Socio-professional catégories	Men	Women
Farmers	167,5	157,4
Industrial workers	170,8	159,1
Clerical workers and commerce	172,6	160,4
Low management Technicians	173,2	160,7
Managers Professionals	174,6	162,7
No occupation	170,9	161,0

Table II - Mean standing height of french people of both sexes following the socio-professional categories

(Rebiffé and coll. 1983)

Regions	Males	Females
North	174,1	161,2
East	173,1	161,2
Ile de France	172,7	160,5
West	169,6	158,0
South-West	170,5	160,0
South-East	171,3	160,6
Center East	171,8	161,3
Foreigners, overseas departments and territories	171,2	159,4

Table III - Mean standing heights of french people of both sexes following their birth region. (Rebiffé and coll., 1983)

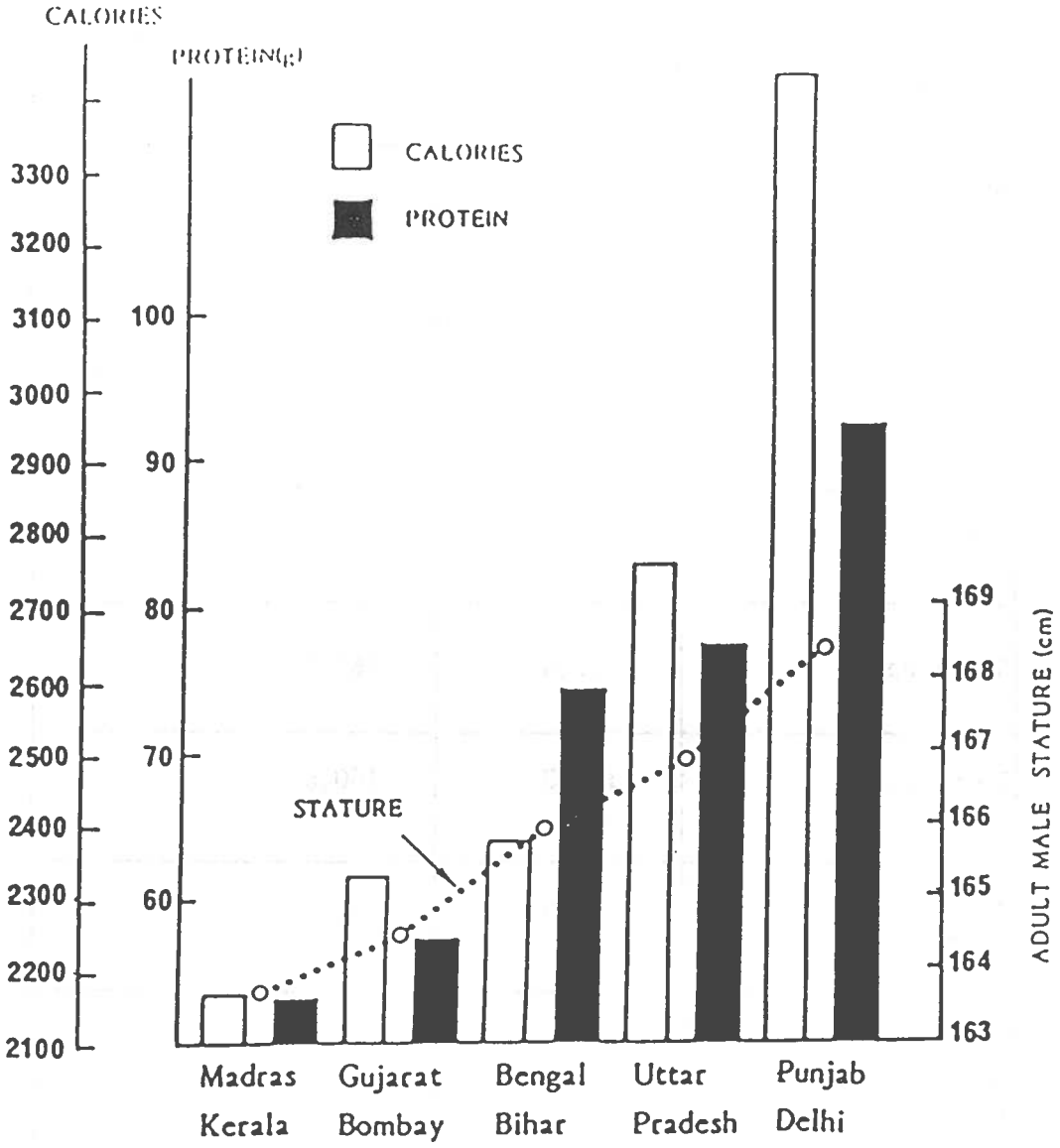

Fig. 2 EFFECTS OF NUTRITION ON STATURE IN DIFFERENT REGIONS OF INDIA.(From Malhotra,1966) (AfterNewman in Damon 1975)

2.0. LES DIMENSIONS SEGMENTAIRES ET LE DESSIN DU POSTE DE TRAVAIL

L'importance des mesures de la taille est grande car cette dimension est en forte corrélation avec chacun des segments corporels. Il est donc possible de prédire chaque dimension segmentaire à partir de la taille avec une bonne approximation. Par exemple, pour Rebiffé et coll. (1982), la corrélation avec la taille debout est très forte (>.800) pour la taille assise (.829), la hauteur de la jambe (.887) et celle du creux poplité au sol (.830), la longueur du membre supérieur (.813) et celle de l'avant-bras (.805). La corrélation demeure élevée (>.700) pour la longueur entre fesse et creux poplité (.747), la longueur du bras (.692) et la distance d'atteinte du membre supérieur.
Les prédictions sont d'autant meilleures que l'on considère des populations plus homogènes du point de vue ethnique.
La figure 3 empruntée à Pheasant (1986) montre que la taille assise se situe entre 51 et 53 % de la stature pour les peuples européens ou d'ascendance européenne et les peuples indoméditerranéens. Elle se situe entre 50 et 52 % chez les peuples d'Afrique sub-saharienne et entre 53 et 55 % chez les peuples d'Extrême-Orient. On peut dire de façon relative que les africains ont un tronc plus court et des membres plus longs et les asiatiques un tronc plus long et des membres plus courts que les européens.

Sur le tableau IV, on a fait figurer à titre d'exemple, les principales dimensions de 4 échantillons de populations masculines : 1500 français mesurés par Rebiffé et coll. (1982) 1940 chinois de Hong-Kong mesurés par Lee (1981) et décrits par Courtney et Wong (1985), 485 mineurs bantous mesurés par Morrison et coll. (1968), et 50 ouvriers mexicains du textile mesurés par Cuellar et coll. (1980). On a calculé également le

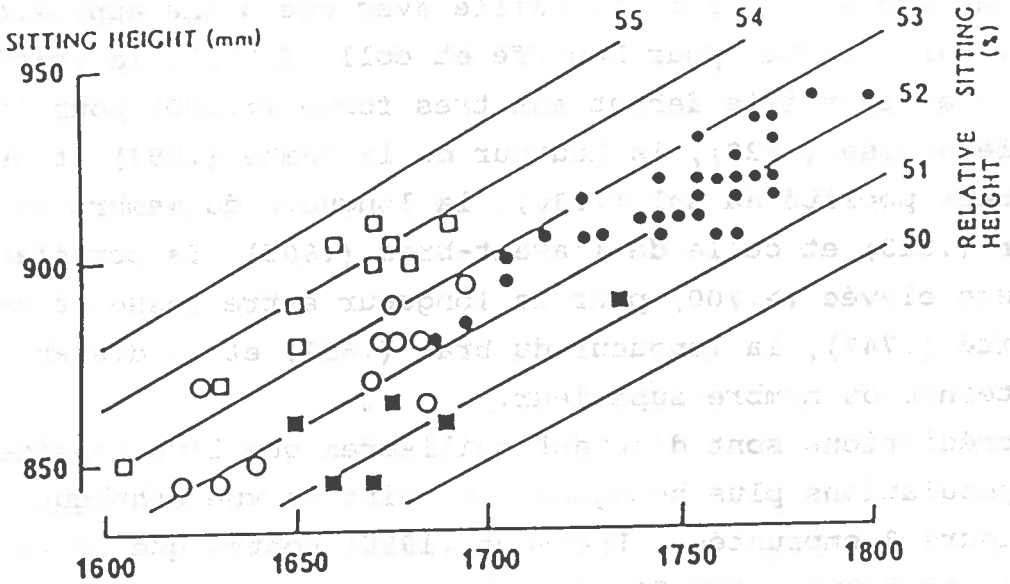

Fig. 3 ETHNIC DIFFERENCES IN THE RELATIONSHIP BETWEEN AVERAGE SITTING HEIGHT AND AVERAGE STATURE IN SAMPLES OF ADULT MEN. (After Pheasant 1985)

● European (including samples of predominately European descent)
○ Indo-Mediterranean

□ Far Eastern
■ African

Table IV - ANTHROPOMETRIC DIMENSIONS
OF FOUR CONTINENTS MALE POPULATION SAMPLES

	FRENCH MALES		CHINESE MALES		BANTU MALE WORKERS		MEXICAN INDUSTRIAL WORKE	
	Dim. in cm	Dim. in % of St Height	Dim. in cm	Dim. in %. of St Height	Dim. in cm	Dim. in % of St Height	Dim. in cm	Dim. in % of St Height
NUMBER	1500		1940		485		50	
WEIGHT IN KG	74				60			
STANDING HEIGHT	171,6		168,0		168,4		160,5	
SITTING HEIGHT	91.0	530	90,1	536	86,2	512	84,7	528
SITTING EYE HEIGHT	79,6	464	78,2	465	74,7	444	74,9	467
SITTING SHOULDER HEIGHT	62,1	362	60,9	363	56,6	336	56,3	351
SITTING KNEE HEIGHT	53,2	310	49,4	294	53,5	318	53,3(?)	332 (?)
SITTING POPLITAL HEIGHT	42,3	247	40,2	239	41,6	247	42,6(?)	265 (?)
SITTING THIGH CLEARANCE	18,1		12,8		13,7		15,7	

Table IV

(continuation)

	FRENCH MALES		CHINESE MALES		BANTU MALE WORKERS		MEXICAN INDUSTRIAL WORKER	
	Dim. in cm	Dim. in % of St Height	Dim. in cm	Dim. in % of St Height	Dim. in cm	Dim. in % of St Height	Dim. in cm	Dim. in % of St Height
BUTTOCK KNEE LENGTH	59,3	346	55,2	329	63,7	378	551	343
BUTTOCK POPLITAL LENGTH	48,0	280	44,5	265			457	285
FOOT LENGTH	26,0		25,0		26,2			
ACROMION-ELBOW L.	35,8	209	34,0	201				
ELBOW-HAND L.	46,9	273	44,5	265				
UPPER-LIMB LENGTH	77,0	449	73,0	435				
MAXIMAL REACH	88,3	515						
FUNCTIONAL REACH	76,8	448			76,9	457		
ABDOMINAL DEPTH	27,1		19,0				27,4	
BREADTH ACCROSS HIP	36,8		33.3		31,4		33,8	

rapport de certaines de ces dimensions avec la stature quand la corrélation entre ces dimensions et la stature sont élevées. On peut ainsi vérifier le fait qu'en moyenne les chinois de Hong-Kong ont une taille assise relativement plus grande et des membres relativement plus courts que les français alors que les bantous ont une taille assise relativement plus basse mais des membres relativement plus grands que les français.
Les mexicains ont proportionnellement les mêmes dimensions que les français, sauf peut-être des jambes relativement plus longues. On retrouve sur ce tableau des différences systématiques signalées depuis longtemps et qui peuvent être critiques dans la pratique ergonomique. Il s'agit moins des dimensions relatives au tronc : la hauteur moyenne des yeux au-dessus du siège ne diffère dans les 4 populations que de 2 cm. Toutefois, si l'on examine dans chaque pays ou région, un groupe d'hommes de 1m 70, on obtient une hauteur assise de 87 cm chez les africains noirs, de 89 cm dans les populations d'origine européenne ou indoeuropéenne, de 90 cm chez les chinois, coréens et vietnamiens et de 92 cm chez les japonais.

Pour les dimensions des membres, les différences sont plus considérables. Dans le tableau IV, pour la hauteur du genou au-dessus du sol, l'écart est de 4 cm et pour la longueur fesse-genou de 8 cm,5. Pour simplifier le travail relatif aux variations ethniques, on peut utiliser les tables très commodes préparées par Pheasant (1986) bien que le parti pris d'unification ne soit pas pleinement convaincant, compte tenu de la diversité des sources (population générale, soldats, ouvriers). Par ailleurs, ces tableaux comprennent des données sur l'Inde, le Japon, Hong-Kong, mais ne donnent pas d'indications sur les pays latino-américains où prédominent souvent l'origine indienne, ni sur les populations africaines noires.

Pheasant montre très justement que les populations asiatiques et en particulier japonaises, modifient leurs dimensions anthropométriques avec l'accroissement de leurs revenus et l'amélioration nutritionnelle consécutive. Non seulement la taille s'accroît, mais les membres deviennent relativement plus longs, ce qui rapproche leurs proportions de celles des populations d'origine européenne et indoméditerranéenne. Toutefois, cette dernière évolution est beaucoup moins marquée que celle de la taille.

Pour dessiner des postes de travail, et en particulier des postes de conduite de véhicules, il importe de connaître la population réelle des utilisateurs en tenant compte de l'origine ethnique, du sexe, de l'âge et du milieu socio-professionnel. A l'intérieur d'un même pays, on tiendra éventuellement compte des différences régionales qui peuvent coïncider avec des différences ethniques.

Les dimensions de la population des utilisateurs peuvent faire l'objet d'une évaluation grâce à des procédés de calcul (Roebuck et coll., 1975, Pheasant, 1986, etc ...) quand on connaît les caractéristiques de la population selon les sources de variation indiquées précédemment.
Il peut être utile pour la pratique du dessin à la planche ou par CAO de disposer d'un mannequin bidimensionnel comme celui que proposent Guillien et Rebiffé (1980) (fig. 4). Les dimensions de chaque segment corporel sont dans cette figure celles de conducteurs de camions (estimation d'une population mâle travaillant en France en 1995 (Stature 172cm) en considérant le 5ème, 50ème et 95ème centiles. La fig. 5 indique les "angles de confort" pour un poste de conducteur. Ces considérations ne sont pas nouvelles (Wisner et Rebiffé, 1963), mais leur usage répété et la réflexion que cet usage inspire permet de les considérer comme d'une utilité générale à condition qu'il soit tenu le plus grand compte des caractéristiques de la population réelle des usagers (Courtney et Wong, 1985).

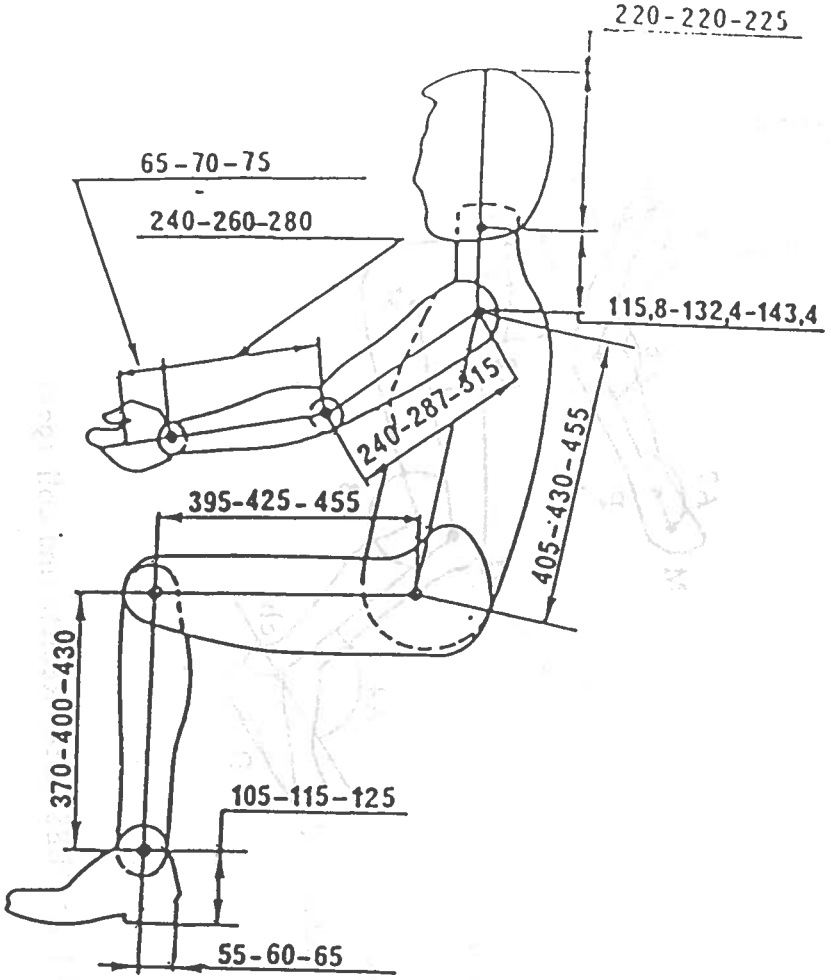

Fig. 4 BIDIMENSIONAL MANIKIN OF A MALE POPULATION OF FRENCH BUS DRIVERS ESTIMATED FOR 1995 (5th,50th,95th centiles) (after Guillien and Rebiffé (1980)

$20^\circ < A1 < 30^\circ$

$95^\circ < A2 < 120^\circ$

$95^\circ < A3 < 135^\circ$

$86^\circ < A4 < 105^\circ$

$0^\circ < A5 < 45^\circ$

$0^\circ < A5 < 20^\circ$ ABDUCTION

$80^\circ < A6 < 170^\circ$

FLEXION $170^\circ < A7 < 190^\circ$ EXTENSION

RADIAL INCLIN $180^\circ < A7 < 190^\circ$ CUBITAL INCLIN

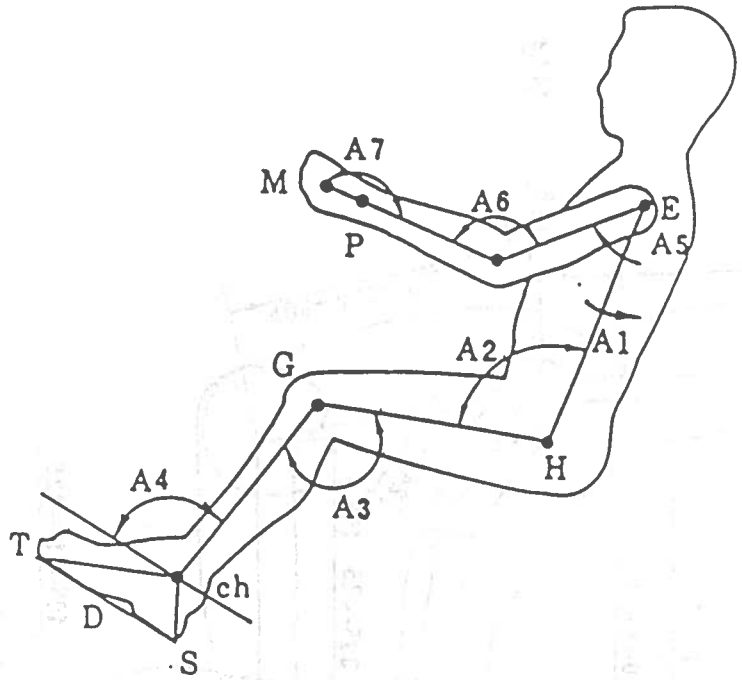

Fig. 5 DRIVING COMFORT ANGLES (after Rebiffé and coll 1975)

C'est ainsi que l'on concevra un poste de conduite pour un homme de 165 cm et une femme de 154 cm si l'on considère l'ensemble de l'humanité; mais si l'on considère la population mondiale des acheteurs d'automobiles particulières, on dessinera le poste de conduite pour un homme de 1m 72 et une femme de 1m 60.

On peut tirer de ces considérations une remarque pratique intéressante. Les objets manufacturés qui exigent un revenu assez élevé de leurs propriétaires comme les automobiles, conviennent à la fois à la population générale des pays industrialisés où les femmes conduisent presque autant que les hommes et à la population riche des pays en voie de développement industriel. On notera que pour les outils et les machines agricoles et artisanales, le choix de matériel importé est peut-être une erreur, compte tenu du fait que dans les pays industriels la population considérée pour fabriquer des outils et des machines a une taille située entre 170 et 173 cm (y compris au Japon), alors qu'en Asie du Sud et de l'Est, en Amérique Latine, la plupart des villageois ont une taille voisine de 160 cm alors que leurs femmes mesurent 150 cm. Pour ces populations, les fabrications locales ou régionales conviennent beaucoup mieux que les objets conçus sur un modèle dimensionnel international.

De façon plus générale, la connaissance précise, ou même approchée, des dimensions de la population permet de concevoir, d'acheter, de modifier le dispositif technique le plus complexe et moderne, comme le plus simple et traditionnel de façon à éviter les mauvaises postures qui deviennent vite intolérables, et à faire bénéficier le travailleur des relations biomécaniques les plus favorables. On notera que

l'abondante littérature sur le sujet est utilisable, à condition d'appliquer une règle de trois tenant compte des dimensions de la population que l'on veut pourvoir, et des dimensions considérées par l'auteur de la source documentaire.

On tiendra le plus grand compte du sexe, de l'âge, du milieu socio-professionnel dans le calcul mettant en relation la population mesurée et la population d'utilisateurs potentiels.

3.0. PUISSANCE DE TRAVAIL ET PENIBILITE DES TACHES

Considérations générales et indications méthodologiques

Si les avantages biomécaniques sont précieux, l'élément critique demeure dans la plupart des situations de travail des P.V.D.I., la force physique humaine, puisque les autres sources d'énergie sont rares et chères. La force physique sera indiquée dans ce texte par la puissance aerobie ou consommation maximale d'oxygène exprimée au litre par minute (Vo_2 max l/min) et par la consommation maximale d'oxygène en millilitres par kilogramme par minute (Vo_2 max ml/kg/min.).
Dans ce cas, le poids est celui du corps tout entier. Cette expression est acceptable pour les populations maigres que l'on trouve dans les villages des P.V.D.I. Elle est beaucoup plus discutable pour les populations mieux nourries des pays industriels, ou des régions industrielles ou urbaines de certaines P.V.D.I.. Dans ce dernier cas, on doit utiliser le poids maigre (lean body weight). Ce dernier peut être calculé à partir de la pesée sous l'eau, en tenant compte du volume pulmonaire résiduel ou plus commodément à partir de l'épais-

C'est ainsi que l'on concevra un poste de conduite pour un homme de 165 cm et une femme de 154 cm si l'on considère l'ensemble de l'humanité; mais si l'on considère la population mondiale des acheteurs d'automobiles particulières, on dessinera le poste de conduite pour un homme de 1m 72 et une femme de 1m 60.

On peut tirer de ces considérations une remarque pratique intéressante. Les objets manufacturés qui exigent un revenu assez élevé de leurs propriétaires comme les automobiles, conviennent à la fois à la population générale des pays industrialisés où les femmes conduisent presque autant que les hommes et à la population riche des pays en voie de développement industriel. On notera que pour les outils et les machines agricoles et artisanales, le choix de matériel importé est peut-être une erreur, compte tenu du fait que dans les pays industriels la population considérée pour fabriquer des outils et des machines a une taille située entre 170 et 173 cm (y compris au Japon), alors qu'en Asie du Sud et de l'Est, en Amérique Latine, la plupart des villageois ont une taille voisine de 160 cm alors que leurs femmes mesurent 150 cm. Pour ces populations, les fabrications locales ou régionales conviennent beaucoup mieux que les objets conçus sur un modèle dimensionnel international.

De façon plus générale, la connaissance précise, ou même approchée, des dimensions de la population permet de concevoir, d'acheter, de modifier le dispositif technique le plus complexe et moderne, comme le plus simple et traditionnel de façon à éviter les mauvaises postures qui deviennent vite intolérables, et à faire bénéficier le travailleur des relations biomécaniques les plus favorables. On notera que

l'abondante littérature sur le sujet est utilisable, à condition d'appliquer une règle de trois tenant compte des dimensions de la population que l'on veut pourvoir, et des dimensions considérées par l'auteur de la source documentaire.

On tiendra le plus grand compte du sexe, de l'âge, du milieu socio-professionnel dans le calcul mettant en relation la population mesurée et la population d'utilisateurs potentiels.

3.0. PUISSANCE DE TRAVAIL ET PENIBILITE DES TACHES

Considérations générales et indications méthodologiques

Si les avantages biomécaniques sont précieux, l'élément critique demeure dans la plupart des situations de travail des P.V.D.I., la force physique humaine, puisque les autres sources d'énergie sont rares et chères. La force physique sera indiquée dans ce texte par la puissance aerobie ou consommation maximale d'oxygène exprimée au litre par minute (Vo_2 max l/min) et par la consommation maximale d'oxygène en millilitres par kilogramme par minute (Vo_2 max ml/kg/min.). Dans ce cas, le poids est celui du corps tout entier. Cette expression est acceptable pour les populations maigres que l'on trouve dans les villages des P.V.D.I. Elle est beaucoup plus discutable pour les populations mieux nourries des pays industriels, ou des régions industrielles ou urbaines de certaines P.V.D.I.. Dans ce dernier cas, on doit utiliser le poids maigre (lean body weight). Ce dernier peut être calculé à partir de la pesée sous l'eau, en tenant compte du volume pulmonaire résiduel ou plus commodément à partir de l'épais-

seur du pli cutané à 2 ou 3 endroits du corps selon des formules éprouvées (Sloan, Weir, 1970).
L'emplacement tricipital est probablement le meilleur. Situé à mi-distance du coude et de l'épaule à la face postérieure du bras, il est aisément accessible chez les hommes et les femmes de toutes cultures.

La mesure directe de la consommation d'oxygène est une opération difficile, exigeant un appareil coûteux et complexe, et un personnel compétent. L'activité physique pendant l'épreuve exige, en principe, un matériel lourd : bicyclette ergométrique, tapis roulant. En fait, une approximation convenable peut être obtenue en mesurant la fréquence cardiaque qui, dans certaines limites, a une relation précise avec Vo_2.

L'activité de référence elle-même peut être simplifiée par l'utilisation d'une épreuve de montée sur une caisse (step test) ou mieux encore, par une épreuve de marche à plat, dans trois conditions (marcher assez lentement, normalement et assez vite sur trois trajets de 120 m de long) (Davies, 1979) Ces mesures en situation sous-maximale demandent de calculer Vo_2 max par extrapolation. Les mesures doivent être pratiquées très tôt le matin, dans les pays chauds, pour éviter l'influence de la température ambiante sur la fréquence cardiaque, ce qui naturellement fausserait les relations entre F.C. et Vo_2. La mesure de la fréquence cardiaque peut être faite grâce à un enregistreur portatif de fréquence cardiaque. On sait qu'il est possible d'obtenir des indications sur la charge de travail en mesurant le pouls sur la personne assise pendant les dernières 30 secondes de la 1ère, 2ème et 3ème minute qui suit l'arrêt de travail (Brouha, 1961). Le calcul de Vo_2 devient assez risqué dans ces conditions; on remarque toutefois que l'on peut porter certaines appréciations sur la

capacité physique d'une population si l'on dispose seulement d'un décamètre, d'une balance et d'un chronomètre.

3.1. DONNEES SUR LA PUISSANCE AEROBIE EN AFRIQUE

La littérature fournit des indications précieuses sur les valeurs probables de Vo_2 max en fonction des caractéristiques des personnes. Là encore, on trouve les travaux importants du Laboratoire de C.H. Wyndham et N.B. Strydom à Johannesburg, publiés entre 1963 et 1972.

Les jeunes recrues de la mine pèsent en moyenne 57 kg, ont une Vo_2 max de 2,41 l/min, ce qui donne par kg une Vo_2 max de 42 ml/kg/min (Wyndham et Heyns, 1969). Les candidats éliminés pour un poids inférieur à 50 kg pèsent en moyenne 47 kg, ont une Vo_2 max de 2,12 l/min ce qui donne par kg une Vo_2 max de 45 ml/kg/min (Strydom et coll., 1971). Ces candidats éliminés ont une capacité physique unitaire plutôt supérieure à celle de ceux qui sont retenus (45 contre 42 ml/kg/min), mais leur poids inférieur explique une Vo_2 max totale de 2 l,12 seulement, ce qui ne permet pas d'espérer pour ces hommes une Vo_2 max totale de 2 l,5 après entraînement.

Un résultat essentiel, obtenu par Wyndham et coll. (1962) est l'effet considérable de l'entraînement, période pendant laquelle l'alimentation antérieurement insuffisante en calories et en protéines est remplacée par une alimentation de 4000 Kcal/j dont environ 15 % proviennent des protéines. Le régime est associé à ue activité physique importante.

	Poids kg	Vo_2 max l/min	Vo_2 max ml/kg/min
à l'embauche	55	2,32	42
après 1 mois	58	2,73	47
après 4 mois	58	2,83	49

Tableau V - Evolution de la capacité physique de 20 recrues des mines d'or d'Afrique du Sud en relation avec leur alimentation et leur activité physique. (d'après Wyndham et coll., 1962)

La capacité physique des 20 recrues du tableau V exprimée par la Vo_2 max totale a ainsi augmenté de 18 % en 1 mois et de 22 % en 4 mois. Cela montre qu'au moins pour les jeunes hommes, un accroissement considérable des capacités peut être obtenu en un temps court grâce à une alimentation abondante et de bonne qualité. Une politique de ressources humaines ne peut que tenir le plus grand compte de ce fait essentiel.

L'étude des différents échantillons de mineurs confirme ce résultat (Wyndham et coll., 1963). Un ouvrier entraîné pèse environ 60 kg, a une Vo_2 max totale de 2 l,9, soit une Vo_2 max par kg de 48 ml/kg/min. Quelques mineurs particulièrement forts pèsent 65 kg, ont une Vo_2 max de 3 l,2 soit une Vo_2 max par kg de 49 ml/kg/min. Comme on le voit chez ces mineurs, une bonne alimentation et un exercice physique important accroissent d'abord le Vo_2 max par kg jusque vers 50 ml/kg/min. Un accroissement supplémentaire de la capacité physique totale ne s'obtient que pa l'augmentation du poids de la masse musculaire.

Pour revenir aux caractéristiques de la population bantoue mâle qui n'exerce pas le métier de mineur (Wyndham, 1973). le poids moyen des villageois est de 57 kg, avec une Vo_2 max totale de 2,25 l/min et une Vo_2 max par kg de 39,5 ml/kg/min, ce qui traduit à la fois une alimentation insuffisante et une activité physique assez faible qui est probablement liée aux limites alimentaires.

Le poids moyen des hommes habitant la ville est de 63 kg avec une Vo_2 max de 2,58 l/min et une Vo_2 max par kg de 41 ml/kgmin, ce qui traduit à la fois une meilleure alimentation et une plus grande activité physique que pour les villageois. Les différences entre ethnies (Venda et Pedi) sont très faibles et probablement liées à des différences de ressources alimentaires dans les villages.

Une étude particulière des populations Venda (Van Graan et coll., 1972) montre qu'au village le poids s'accroît un peu à l'âge adulte (58 kg) pour redescendre après 45 ans (56 kg), ce qui est caractéristique d'une alimentation limitée. Au contraire, le Venda vivant en ville est moins lourd entre 16-25 ans (60 kg) pour atteindre et demeurer ensuite à 65 kg, ce qui indique une alimentation plus abondante. La Vo_2 max par kg s'accroît dans les deux groupes villageois et urbain de la jeunesse (40 ml/kg/min) à l'âge adulte (42-43 ml/kg/min), pour redescendre après 45 ans, surtout chez le Venda urbain (38 ml/kg/min).

Age	Poids	Vo_2 max l/min	Vo_2 max ml/kg/min.
16-25	60	2,4	40
26-35	67	2,83	42,5
36-45	65	2,56	39
46-55	65	2,47	38

Tableau VI - Evolution de la capacité physique des hommes Venda vivant dans des villes d'Afrique du Sud en fonction de leur âge.
(d'après Van Graan et coll., 1972)

Le tableau VI montre pour une des populations noires d'Afrique du Sud, les Vendas vivant en ville, une évolution de la puissance aerobie plus favorable en fonction de l'âge que celle qui est généralement admise en Europe. Cette évolution correspond au fait qu'il s'agit de travailleurs de force correctement alimentés.

Wyndham et coll. (1963) montrent que les Bushmen ont une Vo_2 max totale élevée, 2,39 l/min pour un poids faible (51 kg), car leur Vo_2 max/kg est forte (47 ml/kg/min). Ceci témoigne de leur haut niveau d'entraînement sans lequel il n'y a probablement pas de survie pour eux. On peut souligner à cette occasion que la force physique n'est pas en rapport avec la

taille mais avec le poids, dans la mesure où l'adiposité est faible (< 12 % du poids total).

En tenant compte des résultats obtenus en Afrique du Sud, sur une population très homogène et spécifique, avec des échantillons importants et des techniques très précises, on peut interpréter les résultats obtenus dans d'autres pays d'Afrique Noire dans des conditions plus difficiles.

On peut rapprocher les résultats obtenus chez les bushmen de ceux qui caractérisent les pygmées du Zaïre : poids : 51 kg; Vo_2 max totale : 2 l,41, Vo_2 max/kg 48 ml/kg/min (Ghesquière, 1972).

Dans les régions d'Afrique Noire où l'alimentation est la plus limitée, on trouve des valeurs très basses de Vo_2 max totale, inférieures à 2 l en Ethiopie (Lange-Andersen, 1972) au voisinage de 2,2 l chez les villageois du Soudan (Awad el Karim et coll., 1980-1981). On trouve entre 2,5 et 3 l/min, les Vo_2 max des villageois du Kénya (Di Prampero et Ceritelli, 1969) (2,8 l/mn), du Nigéria (3 l/min) (Ojikutu et coll., 1972) du Zaïre (2,5 l/min) (Ghesquière, 1972) et de Tanzanie. Dans ce dernier pays, une étude de C.T.M. Davies (1979) montre d'importantes variations chez les coupeurs de canne à sucre. Ceux qui coupent beaucoup de cannes atteignent pour la Vo_2 max totale 3,2 l/min et pour la Vo_2 max/kg, de 51 ml/kg/min. Les valeurs pour les coupeurs moyens atteignent respectivement 2,95 l et 48 ml/kg/min et chez les coupeurs modestes 2,80 l et 47 ml/kg/min. Les coupeurs vieillissants ont une VO_2 max totale de 2,76 l/min et une Vo_2 max kg de 43 ml/kg/min. On trouve des différences analogues en fonction du taux d'hémoglobine sanguin (Hb) lié à la bilharziose et au paludisme (tableau VII)

Qualification de l'anémie	Taux d'hémoglobine en g /100 ml de sang	Vo_2 max l/min	Vo_2 max ml/kg/min
pas d'anémie	14,5	2,88	52
anémie modérée	9,2	2,20	43
anémie forte	6,7	1,90	35

Tableau VII : Variations de la capacité physique de coupeurs de canne à sucre tanzaniens en fonction de leur taux d'anémie d'origine parasitaire.
(d'après Davies, 1979)

Une étude menée au Soudan (Collins et coll., 1976) où les villageois furent classés en fonction de leur niveau d'infection par la bilharziose et où l'anémie était modérée, est moins concluante. Dans d'autres pays, Guatemala chez les coupeurs de canne, Sri Lanka chez les cueilleuses de thé, on trouve un effondrement du rendement parallèle à l'anémie. Cette dernière est liée aux parasitoses, à l'alimentation végétarienne, aux grossesses fréquentes chez les femmes.

En ce qui concerne les autres catégories sociales, on trouve des valeurs très élevées de Vo_2 max chez les ouvriers des industries lourdes au Nigéria (Ojikutu et coll., 1972) (Vo_2 max totale 3,35 l/min, Vo_2 max 57 ml/kg/min), mais habituellement on trouve des valeurs de Vo_2 max totale situées entre 2,5 l et 3 l chez les ouvriers des divers pays d'Afrique

Noire :industries légères du Nigéria (Ojikutu et coll., 1972; Vo_2 max = 2 l,55 Vo_2/kg = 47 ml/kg/min) et du Zaïre (Ghesquière, 1972; Vo_2 max: 2 l,50, Vo_2/kg = 42 ml/kg/min), portefaix du Zaïre (Vo_2 max: 2 l,56, Vo_2 kg = 48 ml/kg/min).

Des étudiants nigérians ont une Vo_2 max de 3,03 l/min (Vo_2 max kg = 45 ml/kg/min) (Ojikutu et coll., 1972)

Des étudiants du Zaïre ont une Vo_2 max de 2,75 l/min (Vo_2 max kg = 44 ml/kg/min) (Ghesquière, 1972).

Des champions de football zaïrois ont une Vo_2 max totale de 3,46 l/min (Vo_2/kg = 53 ml/kg/min) (Ghesquière, 1972)

Des soldats soudanais ont une Vo_2 max totale de 3,54 l/min (Vo_2/kg = 50 ml/kg/min), ce qui témoigne à nouveau de leur excellente alimentation et de leur bonne condition physique. (Awad el Karim et coll., 1981).

On remarque que, contrairement à un préjugé courant, les meilleures capacités physiques ne sont pas nécessairement celles de ceux qui ont à réaliser professionnellement de gros efforts physiques. Il s'agit plutôt des jeunes gens privilégiés de chaque pays disposant d'une bonne alimentation et des conditions nécessaires pour avoir un bon entraînement physique comme les étudiants, les sportifs et les militaires professionnels.

En ce qui concerne les femmes, on ne dispose pour toute l'Afrique Noire que de mesures de Vo_2 max faites sur 17 étudiantes nigérianes, ce qui n'est guère significatif (m = l 1,70/min) (Ojikutu, 1972).

On sait que le calcul de Vo_2 max/kg par la division de Vo_2 max totale par le poids est biaisé dès que les personnes ne sont pas très maigres. De façon générale, en Afrique, le poids maigre est inférieur au poids total de 12 % pour les hommes les plus pauvres, de 17 % pour les mieux nourris, ceci correspond à l'importance des graisses corporelles.

Ces valeurs sont relativement élevées si on les compare à celles que l'on observe dans d'autres parties du monde, en particulier en Asie. Toutefois, il n'est pas certain que les groupes étudiés soient comparables d'un continent à l'autre.

Wyndham (1973) résume les diverses influences sur la capacité physique considérées plus haut (âge, sexe, nutrition, parasitoses). Il insiste aussi sur le fait que le simple alitement peut faire perdre 27 % de Vo_2 max à des sujets sains. Il montre également que pour tous les peuples de monde Vo_2 max se situe à des niveaux voisins dans chaque catégorie d'activité. Les athlètes se situent entre 4 et 5 l/min. Les hommes jeunes ayant une activité physique importante (soldats) se situent entre 3 et 4 l/min. Les travailleurs industriels jeunes des pays développés se situent entre 3 et 3,3 l/min. comme les jeunes gens privilégiés. Toutes ces valeurs concernent des personnes très bien nourries.

3.2. DONNEES SUR LA PUISSANCE AEROBIE EN ASIE

En fait, les remarques de Wyndham (1973) concernent surtout les populations industrielles et certaines populations africaines. Elles sont en principe également vraies chez les indiens d'Amérique Latine ou en Asie du Sud et du Sud-Est. Ces dernières régions où se trouvent 1/3 de la population mondiale

ont des populations qui sont pour la plupart sous alimentées en quantité et en qualité. De ce fait, la situation est profondément différente en Asie du Sud et de l'Est où l'on ne trouve de Vo_2 max totale supérieure à 3 l/min que chez les Sherpas (porteurs) de l'Himalaya (Vo_2 max totale = 3,9 l/min). Cette valeur élevée est obtenue malgré un poids faible (54 kg) grâce à un entraînement intense à haute altitude. Pugh et coll. (1964) montrent chez les grimpeurs de l'Everest la baisse de Vo_2 max avec l'accroissement de l'altitude (tableau VIII).

Altitude	Vo_2 max ml/kg/min	% de baisse
Niveau de la mer	50	0
2000 m	46	8
4000 m	40	20
6000 m	33	34
8000 m	20	46

Tableau VIII - Variations de la capacité physique en fonction de l'altitude (d'après Pugh, 1964).

Inversement, les hommes qui, comme les sherpas, sont entraînés depuis leur enfance à être porteurs dans des villages situés à 5000 mètres d'altitude peuvent atteindre des

valeurs de Vo_2 max/kg supérieures de 30 % à celles qu'ils obtiendraient au niveau de la mer et avoir une Vo_2 max/kg qui atteint ou dépase 70 ml/kg/min (Nag et Sen, 1978, Nag, Sen et Ray, 1978).

En Inde, une V_{02} max élevée est tout à fait exceptionnelle puisque seul un groupe de soldats très entraînés se situe à 2,7 l/min (Sengupta et coll., 1977). Les étudiants atteignent 2,5 l/min.(Maïtra, 1979).

Les ouvriers industriels (Sen et Sarkar, 1979) et les porteurs Samanta et Chatterjee, 1981) se situent entre 2 l et 2,5 l/min. Les paysans (Nag, 1981), les mineurs (Chakraborty et coll., 1972), les ouvriers de maintenance des voies de chemin de fer (Nag et coll., 1985) ne dépassent guère 2 l/min. On remarquera en particulier que les mineurs se situent à un poids moyen (49 kg) situé au-dessous du niveau d'exclusion à l'embauche en Afrique du Sud et ont une VO_2 max totale de 1,9 l/min, inférieure de 25 % à celle qui est considérée comme minimale dans les mines d'Afrique du Sud.

En fait, la capacité musculaire exprimée par la VO_2 max/kg est analogue en Afrique et en Asie et se situe entre 40 et 45 ml/kg/min comme pour tout homme jeune, maigre et entraîné. On peut noter que les valeurs de VO_2 max/kg obtenues en divisant la Vo_2 max totale par le poids total sont proportionnellement inférieures pour les indiens car ils sont plus maigres que les africains (12 à 17 % de graisses corporelles). (Lange-Andersen, 1972; Ojikutu et coll., 1972). Le taux de graisses corporelles se situe en Inde entre 5 et 10 % pour les agriculteurs (Nag, 1981) et les porteurs (Nag et Sen, 1978) avec une moyenne de 7 %. Chez les femmes indiennes, les graisses corporelles se situent entre 13 et 19 % (Nag et coll., 1978).

Ce qui distingue surtout les indiens et les habitants de l'Asie du Sud-Est, des africains ou des personnes vivant ailleurs dans le monde, c'est leur faible poids qui se situe vers 43 kg pour les agriculteurs pauvres, 49 kg pour les mineurs et les ouvriers de la voie des chemins de fer, 50 à 55 kg pour les ouvriers industriels et les porteurs, 53 kg pour les étudiants et 60 kg pour les soldats. Les seuls travailleurs ayant un poids relativement élevé (62 kg pour 170 cm) sont les sauveteurs des mines (Guharay et coll., 1979) qui ont une Vo_2 max particulièrement basse (1,8 l/min) ce qui ne plaide pas en faveur d'un bon niveau d'entraînement (Vo_2 max/kg : 29 ml/kg/min).

Une autre étude (Sengupta et coll.,1973) portant sur des soldats professionnels, d'un poids moyen de 59 kg, montre la baisse relative de la VO_2 totale et de la Vo_2/kg avec la chaleur (Tableau IX).

	Vo_2 max totale en/min	Baisse en %	Vo_2 max/kg en ml/kg/min
Climat confortable	2,66		45
Climat très chaud et sec	2,54	5	43
Climat chaud et humide	2,40	10	41
Climat extrêmement chaud et sec	2,37	11	40
Climat extrêmement chaud et humide	2,29	14	39

Tableau IX - Reduction de la capacité physique effective avec l'accroissement de la charge thermique (d'après Sengupta et coll., 1977)

Sen et Sarkar (1979) apportent des résultats comparables : (Tableau X)

Climat	Vo_2 max totale en l/min	Baisse en %	Vo_2 max/kg en ml/kg/min
confortable C.E.T.21,3°C	2,31		41
chaud C.E.T.27,1°C	2,05	11	36
très chaud C.E.T.32,4°C	1,81	22	32

Tableau X - Réduction de la capacité physique effective avec l'accroissement de la charge thermique (d'après Sen et Sarkar, 1979)

On voit combien l'activité physique en pays chaud peut être réduite en fonction de l'ambiance thermique, en particulier pour les personnes de faible capacité et dans le cas d'efforts importants pour les personnes à capacité normale. On saisit aussi combien la climatisation peut être utile pour la santé et le rendement comme l'ont montré Wyndham et Brouha.
On comprend ainsi qu'une expression comme "paresse tropicale" puisse reposer sur une méconnaissance des effets biologiques d'une alimentation médiocre, d'une charge thermique élevée et le plus souvent de parasitoses diverses.

Les résultats obtenus par P.K. Nag (1981) sur la réduction des capacités avec l'âge dans un village indien sont significatifs (Tableau XI).

Age	Poids total	Vo_2 max tot l/min	Perte en % Vo_2 max tot	Vo_2 min ml/kg/min	Pouls max
20-29	46	2,16		47	188
30-39	43	1,98	8	46	184
40-49	42	1,76	19	42	173

Tableau XI - Réduction de la capacité physique avec l'âge chez des villageois indiens (d'après Nag, 1981).

La perte de 8 % pour la tranche de 30-39 ans et celle de 19 % pour la tranche de 40-49 ans s'expliquent presque exclusivement par la réduction du poids si l'on tient compte du poids maigre car les graisses corporelles augmentent de 4 % à 7 % avec avec l'âge.

Sen et Sarkar (1979) obtiennent des résultats plus favorables chez les travailleurs industriels indiens (Tableau XII).

Age en années	Poids total en kg	Vo_2 max tot. l/min	Perte en Vo_2 max tot	Vo_2 min ml/kg/min
20-29	54	2,46		46
30-39	55	2,33	5	35
40-59	62	2,13	13	35

Tableau XII - Réduction de la capacité physique avec l'âge chez des ouvriers indiens (d'après Sen et Sarkar, 1979)

Les pertes en Vo_2 max totale sont de moitié moindres et l'on peut remarquer que la deuxième tranche couvre la tranche d'âge 40-59 ans au lieu de 40-49 ans. Par ailleurs, les travailleurs industriels indiens grossissent avec l'âge, ce qui indique une relation alimentaire suffisante pour le travail physique et une valeur relativement plus élevée de Vo_2 max/kg si l'on tient compte du poids maigre.

On peut rapprocher ces résultats de ceux obtenus chez les Pedi et le Venda ruraux et urbains d'Afrique du Sud où la baisse de Vo_2 max totale est faible ou nulle jusqu'à 50 ans et de ceux obtenus sur les mineurs sud africains d'origine européenne où la Vo_2 reste au-dessus de 3 l jusqu'à la tranche d'âge 50-59 ans comprise.

Sen et Sarkar (1979) montrent également une forte relation entre la charge physique liée à chaque tâche, la Vo_2 max totale et la Vo_2 max/kg. (Tableau XIII)

Charge physique	Vo_2 max totale en l/min	Vo_2 max/kg en ml/kg/min
légère	1,67	31
modérée	1,91	36
lourde	2,27	41
très lourde	2,50	42
extrêmement lourde	3,17	56

Tableau XIII - Relations entre la charge de travail caractérisant diverses tâches et la capacité physique des travailleurs qui les exécutent (d'après Sen et Sarkar, 1979)

On peut rapprocher ces résultats de ceux des coupeurs de canne tanzaniens étudiés par C.T.M. Davies (1979).

La Vo_2 max moyenne des travailleurs industriels indiens étudiés par Sen et Sarkar (1979) est 2, 31 l/min. Ces valeurs sont inférieures aux valeurs moyennes des travailleurs industriels africains (2,55 l/min), ou des mineurs sud-africains entraînés (2,9 l/min). Ces valeurs sont surtout inférieures à celles qu'à trouvé Astrand (1966) sur les étudiants suédois en éducation physique (4,11 l/min), Kukkonen-Harjula et Ravramaa (1984) dans une population de bûcherons finlandais (3,94 l/min) ou même que Hedberg et Niemi (1966) ont trouvé chez des conducteurs de camions suédois (1986) (2,8 l/min). Ces données soulignent la nécessité absolue de mieux situer les échelons de pénibilité du travail selon les caractéristiques des populations mondiales, comme on le verra plus loin.

Les données indiennes relatives aux femmes sont moins nombreuses que pour les hommes. On peut toutefois, grâce à ces études, évaluer les capacités de femmes indiennes à un niveau bas. Ce niveau est lié au faible poids, aussi bien des villageoises (39 kg) (Nag et coll., 1978) que des étudiantes (45 kg). (Maitra et coll., 1979, Oberoï et coll., 1983). Il est lié aussi au niveau modeste de la capacité musculaire exprimée par VO_2 max/kg : entre 30 et 35 ml/kg/min chez les villageoises comme chez les étudiantes. De ce fait, on note chez les femmes de villages pauvres une Vo_2 max totale située entre 1 et 1,3 l/min et chez les étudiantes une Vo_2 max totale de 1,5 l/min.

Les physiologistes indiens (Nag et coll., 1982, Goswami, 1984) ont beaucoup étudié les capacités physiques des handicapés, en particulier des paraplégiques. Pour un poids moyen de 40 kg, les paraplégiques examinés ont une Vo_2 située entre 1 et 1/3 l/min. On sait combien ces données sont importantes pour la conception de fauteuils roulants sans moteur car un effort trop important et soutenu peut entraîner ainsi la défaillance cardiaque.

3.3. CHARGES ACCEPTABLES DE TRAVAIL

Il existe une grande confusion dans la définition des catégories de pénibilité de charge physique. Comme on l'a vu précédemment, on constate en effet de telles différences de capacités entre les travailleurs d'un pays à l'autre et au sein d'un même pays d'une catégorie à l'autre qu'une règle universelle peut paraître illusoire et dangereuse. Toutefois, les nécessités de l'organisation internationale du travail exigent une certaine clarification de la question.

Le critère le plus sûr est la fréquence cardiaque puisqu'elle tient compte à la fois de la capacité physique et des conditions thermiques. On sait toutefois que la fréquence cardiaque maximale absolue baisse avec l'âge ainsi que probablement la fréquence cardiaque maximale tolérable. Il est admis de façon à peu près universelle que la fréquence cardiaque ne doit pas dépasser 110 pulsations/minute de façon durable pendant la journée de travail. Pendant les périodes de travail plus intenses, on ne dépassera pas 130 pulsations/minute. Dans des conditions thermiques favorables, l'"acceptable workload" (A.W.L.) proposée par Saha et coll. (1979) est de 35 % de la Vo_2 max de chaque individu. Elle correspond aux proportions retenues par Lehmann (1955), Soula et coll. (1961) Brouha (1961), Bonjer (1968) à l'époque où ce même type de problème se posait en Europe et en Amérique du Nord.

Dans un travail de Nag et coll. (1980), on peut noter que pour de jeunes travailleurs agricoles indiens en bonne santé, une fréquence cardiaque de 110 pulsations/minute correspond à 25 % de leur Vo_2 maximum. Ces proportions correspondent bien aux recommandations formulées dans les pays industrialisés. Toutefois, la Vo_2 max étant plus élevée dans les pays industrialisés, les Vo_2 de travail recommandées sont plus élevées qu'en Inde.

Il y a donc un accord international pour adapter une échelle pénibilité relative exprimée en pourcentage de la Vo_2 max de chaque personne ou de chaque groupe ou sous groupe.
Soula et coll. (1961) repris par Monod (1981) considère que "le travail léger met en jeu moins de 25 % de la puissance aérobie. Cette classe englobe la majeure partie des tâches professionnelles; le travail intense correspond à l'utilisation de 25 à 50 % de la puissance aérobie. C'est dans cette catégorie que se rangent les travaux professionnels de force. Le travail sous-maximal correspond à 50 à 75 % de la puissance aérobie. Des travaux de cette intensité sont fréquents dans l'industrie lourde et les mines et au cours de certaines activités sportives. Le travail maximal met en jeu 75 à 100 % de la puissance aérobie. Les tâches professionnelles d'un tel niveau sont des exceptions qui ont cependant été observées dans les fonderies. Le travail épuisant est exécuté à une puissance supérieure à la puissance aérobie maximale. La capacité anaérobie est largement mise à contribution comme le prouve l'importance de la dette d'oxygène. L'épuisement survient généralement en quelques minutes."

Si une telle expression relative de la pénibilité est généralement acceptée à quelques nuances près de vocabulaire. On note également dans la littérature scientifique, des échelles d'évaluation absolues des tâches comme celle de Brouha qui se rapporte tacitement à un travailleur ayant une Vo_2 max de 3 l/m. Une telle puissance aérobie est tout à fait exceptionnelle dans les pays en voie de développement industriel, surtout en Asie du Sud et du Sud-Est, elle est même assez rare dans les pays industrialisés dont les travailleurs de force sont d'ailleurs souvent issus des P.V.D.I. ou des régions les plus pauvres des pays industrialisés. Une puissance aérobie de 3 l/min se trouve par contre très souvent chez les étudiants sportifs de tous les pays.

3.3. CHARGES ACCEPTABLES DE TRAVAIL

Il existe une grande confusion dans la définition des catégories de pénibilité de charge physique. Comme on l'a vu précédemment, on constate en effet de telles différences de capacités entre les travailleurs d'un pays à l'autre et au sein d'un même pays d'une catégorie à l'autre qu'une règle universelle peut paraître illusoire et dangereuse. Toutefois, les nécessités de l'organisation internationale du travail exigent une certaine clarification de la question.

Le critère le plus sûr est la fréquence cardiaque puisqu'elle tient compte à la fois de la capacité physique et des conditions thermiques. On sait toutefois que la fréquence cardiaque maximale absolue baisse avec l'âge ainsi que probablement la fréquence cardiaque maximale tolérable. Il est admis de façon à peu près universelle que la fréquence cardiaque ne doit pas dépasser 110 pulsations/minute de façon durable pendant la journée de travail. Pendant les périodes de travail plus intenses, on ne dépassera pas 130 pulsations/minute. Dans des conditions thermiques favorables, l'"acceptable workload" (A.W.L.) proposée par Saha et coll. (1979) est de 35 % de la Vo_2 max de chaque individu. Elle correspond aux proportions retenues par Lehmann (1955), Soula et coll. (1961) Brouha (1961), Bonjer (1968) à l'époque où ce même type de problème se posait en Europe et en Amérique du Nord.

Dans un travail de Nag et coll. (1980), on peut noter que pour de jeunes travailleurs agricoles indiens en bonne santé, une fréquence cardiaque de 110 pulsations/minute correspond à 25 % de leur Vo_2 maximum. Ces proportions correspondent bien aux recommandations formulées dans les pays industrialisés. Toutefois, la Vo_2 max étant plus élevée dans les pays industrialisés, les Vo_2 de travail recommandées sont plus élevées qu'en Inde.

Il y a donc un accord international pour adapter une échelle pénibilité relative exprimée en pourcentage de la Vo_2 max de chaque personne ou de chaque groupe ou sous groupe.
Soula et coll. (1961) repris par Monod (1981) considère que "le travail léger met en jeu moins de 25 % de la puissance aérobie. Cette classe englobe la majeure partie des tâches professionnelles; le travail intense correspond à l'utilisation de 25 à 50 % de la puissance aérobie. C'est dans cette catégorie que se rangent les travaux professionnels de force. Le travail sous-maximal correspond à 50 à 75 % de la puissance aérobie. Des travaux de cette intensité sont fréquents dans l'industrie lourde et les mines et au cours de certaines activités sportives. Le travail maximal met en jeu 75 à 100 % de la puissance aérobie. Les tâches professionnelles d'un tel niveau sont des exceptions qui ont cependant été observées dans les fonderies. Le travail épuisant est exécuté à une puissance supérieure à la puissance aérobie maximale. La capacité anaérobie est largement mise à contribution comme le prouve l'importance de la dette d'oxygène. L'épuisement survient généralement en quelques minutes."

Si une telle expression relative de la pénibilité est généralement acceptée à quelques nuances près de vocabulaire. On note également dans la littérature scientifique, des échelles d'évaluation absolues des tâches comme celle de Brouha qui se rapporte tacitement à un travailleur ayant une Vo_2 max de 3 l/m. Une telle puissance aérobie est tout à fait exceptionnelle dans les pays en voie de développement industriel, surtout en Asie du Sud et du Sud-Est, elle est même assez rare dans les pays industrialisés dont les travailleurs de force sont d'ailleurs souvent issus des P.V.D.I. ou des régions les plus pauvres des pays industrialisés. Une puissance aérobie de 3 l/min se trouve par contre très souvent chez les étudiants sportifs de tous les pays.

Il convient donc d'éviter l'expression de la pénibilité d'une tâche en termes absolus et préférer une expression relative à la capacité des travailleurs. La fig. 6 montre que les exigences d'une même tâche (exprimées par exemple en fonction de la classification de Brouha) peut se situer très diversement selon les capacités du groupe humain qui la réalise.

Ainsi, une tâche qui exige une consommation d'oxygène de 1 l/minute est considérée comme à la limite supérieure du travail léger par Brouha et par Soula et Monod pour les étudiants suédois en éducation physique. En utilisant la classification de Soula et Monod, on note que ce même travail est intense pour les ouvriers norvégiens, à la limite du travail intense et du travail sous-maximal pour les paysans indiens et ethiopiens et à la limite du travail maximal et épuisant pour les femmes indiennes et les paraplégiques indiens.

Ces considérations peuvent se traduire également en termes de durée maximale du travail ou de fréquence et de durée des pauses nécessaires. L'importance de l'entraînement apparaît dans la figure 7 empruntée à Astrand et Rodahl (1970). Ainsi, un travail exigeant 25 % de la Vo_2 max peut être prolongé plusieurs heures chez les sujets non entraînés alors que chez les sujets entraînés, le travail prolongé peut atteindre 50 % de Vo_2 max. Or, on sait que les travailleurs souffrant de dénutrition ne peuvent atteindre un degré satisfaisant d'entraînement (Wyndham et coll., 1962).

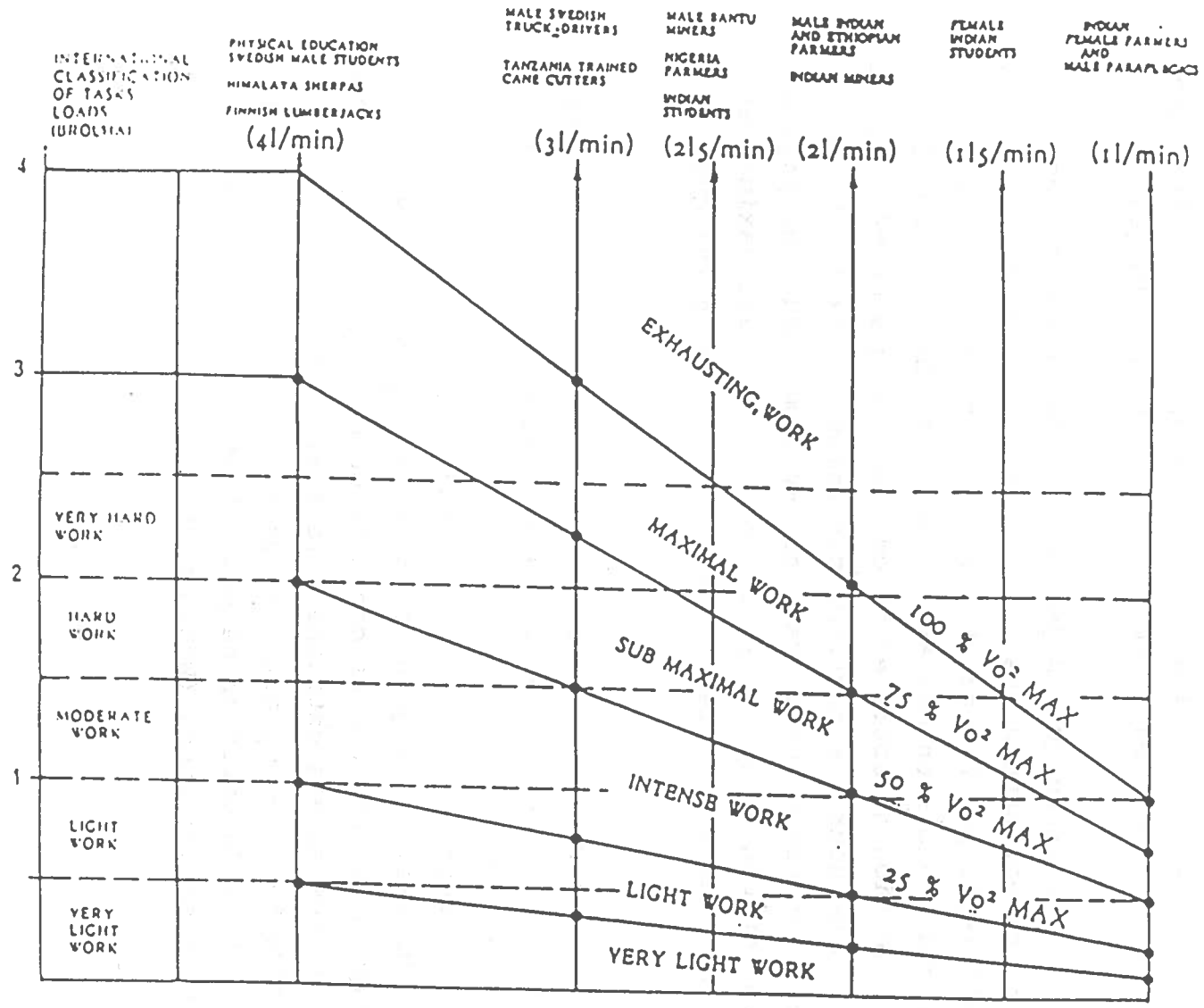

Fig. 6 INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF TASKS PHYSICAL LOAD AFTER BROUHA AND RELATIVE HARDNESS OF THESE TASKS FOR DIFFERENT GROUPS OF WORKERS AFTER THE PROPORTIONS GIVEN BY SOULA AND MONOD.

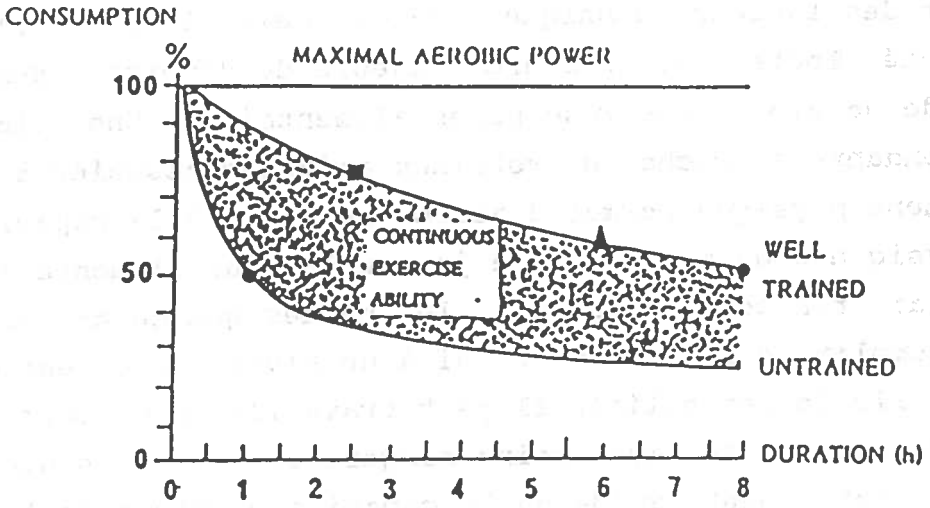

Fig. 7 MAXIMAL EXERCISE DURATION IN RELATION WITH OXYGEN CONSUMPTION NEEDED AND TRAINING (after Astrand and Rodahl (1973)

4.0. CONCLUSIONS

Il existe d'importantes différences entre les populations de travailleurs du Monde. Ces différences s'expliquent en partie par des facteurs ethniques, par le sexe, l'âge et l'état de santé. Toutefois, la source majeure de diversité demeure le mode de vie et les ressources alimentaires. Une alimentation abondante et riche en protéines animales associée à l'entraînement physique permet d'accroître de 20 % la capacité physique d'un adulte jeune jusque là sous alimenté dans un délai très court. Dès lors, les tâches que ce travailleur doit accomplir se situent pour lui à un niveau inférieur de son échelle de pénibilité. Il peut travailler plus fort, plus longtemps et de façon moins dangereuse pour sa santé. L'accroissement rapide de la capacité physique de l'adulte jeune et en bonne santé est un élément essentiel d'une politique d'industrialisation et plus généralement de développement. Dans beaucoup de régions du monde, la sous-alimentation et la chaleur ne laissent aux travailleurs que très peu de capacité physique disponible pour le travail productif, ce qui contribue au maintien de la pauvreté. Une constatation liée à ces faits et commune aux pays industrialisés et en développement industriel est que les personnes appartenant aux catégories socio-professionnelles élevées et dont l'activité professionnelle n'exige que peu de travail physique ont une capacité physique de travail supérieure ou très supérieure aux travailleurs agricoles et industriels des mêmes âges et sexes.

Ce fait est essentiel pour éviter des projections erronées. En ce qui concerne les dimensions corporelles, on note également des différences importantes ayant des origines analogues à celles des différences de capacité physique. La diversité ethnique s'exprime sur le plan génétique. Les autres facteurs agissent de façon très précoce; l'influence des caractéristiques anthropométriques et l'état nutritionnel de la mère sont essentiels pour les caractéristiques futures de l'enfant ayant atteint l'âge adulte. Des transformations anthropométriques se produisent en fonction du niveau socio-économique des pays comme des groupes humains. La croissance séculaire atteint 1 mm par an dans les pays anciennement industrialisés depuis 100 ans. Une croissance analogue de l'ordre de 100 mm a été notée au Japon au cours d'une période 3 fois plus courte en liaison avec une variation très rapide des modes de vie et d'alimentation. Des différences du même ordre (100 mm) peuvent être observées entre les milieux socio-professionnels dans les pays en développement industriel et, dans une mesure moindre, dans les pays industrialisés.

Deux types de conséquences peuvent être tirés de ces constatations. D'une part, les caractéristiques anthropométriques des peuples ne sont pas immuables. Le rôle des facteurs génétiques n'est pas isolé. Les changements socio-économiques peuvent avoir un effet très important sur la taille et les autres dimensions corporelles des populations mondiales.

Une autre conséquence plus ergonomique et plus immédiate est que les produits industriels chers comme les automobiles peuvent être produits en série à la suite d'une conception

attentive aux caractéristiques de leurs acheteurs répartis dans le monde. En effet, les populations riches des pays pauvres et les populations générales des pays riches ont des caractéristiques dimensionnelles voisines, surtout si l'on tient compte de la répartition des conducteurs potentiels selon l'âge et le sexe.

Au contraire, les machines et outils de travail industriels, et surtout agricoles, doivent subir d'importantes modifications ou mieux, être produits dans la région pour convenir à ceux qui les utilisent. Ces considérations sont particulièrement vraies si l'on considère les populations des travailleurs les plus différentes : celles des pays anciennement industrialisés du Nord de l'Europe et de l'Amérique et celles de l'Asie du Sud et Sud-Est et de l'Amérique Latine.
Au contraire, les travailleurs des pays situés autour de la Méditerranée et, dans une moindre mesure, les travailleurs d'Afrique Noire, ont des caractéristiques dimensionnelles comparables qui favorisent les échanges.

Des liens importants apparaissent ainsi entre les caractéristiques physiques des peuples et leur évolution socioéconomique. La dynamique de ces évolutions est importante à suivre pour l'ergonomiste soucieux de l'amélioration des transferts de technologie. Dans une perspective anthropotechnologique, l'ergonomiste pourra ainsi être utile aux exportateurs comme aux importateurs de moyens de travail. Il pourra ainsi aider chaque économie nationale à créer les outils de travail qui lui sont nécessaires et qu'elle ne trouve pas sur le marché international du fait d'une standardisation excessive sur la base des caractéristiques des populations des pays industrialisés.

Bibliography

- ASTRAND P.O., RODAHL K. (1970) Textbook of work physiology Mc Graw Hill pub New-York

- AWAD EL KARIM M.A., SUKKAR M.Y., COLLINS K.J., DORE C.(1981) The working capacity of rural, urban, and service personnel in the Sudan Ergonomics 24 12 945-952

- BAKER P.T., WEINER J.S. (1966) The biology of human adaptability Clarendon Press Oxford

- BALLAL M.A., FENTEM P.H., MAC DONALD I.A., SUKKAR M.Y., PATRICK A.J.M. (1982) Physical condition in young adult Sudanese. A field study using a self paced walking test ERGONOMICS 25 2, 1185-1190

- BANDYOPADHYAY B., CHATTOPADHYAY H. (1981) Assesment of physical fitness of sedentary and physically active male college students by a modified Harvard steptest. ERGONOMICS 24 1 15.20

- BONJER F.K. (1963) Relationship between working time, physical working capacity and allowable calorie expediture in Muskelarbeit und muskeltraining Gentner pub. Stuttgart 86-98

- BOURLIERE F., PAROT S. (1962) Le vieillissement de deux populations blanches vivant dans des conditions très différentes Revue Française d'Etudes Cliniques et Biologiques 7 6 629-635

Bibliography

- ASTRAND P.O., RODAHL K. (1970) Textbook of work physiology Mc Graw Hill pub New-York

- AWAD EL KARIM M.A., SUKKAR M.Y., COLLINS K.J., DORE C.(1981) The working capacity of rural, urban, and service personnel in the Sudan Ergonomics 24 12 945-952

- BAKER P.T., WEINER J.S. (1966) The biology of human adaptability Clarendon Press Oxford

- BALLAL M.A., FENTEM P.H., MAC DONALD I.A., SUKKAR M.Y., PATRICK A.J.M. (1982) Physical condition in young adult Sudanese. A field study using a self paced walking test ERGONOMICS 25 2, 1185-1190

- BANDYOPADHYAY B., CHATTOPADHYAY H. (1981) Assesment of physical fitness of sedentary and physically active male college students by a modified Harvard steptest. ERGONOMICS 24 1 15.20

- BONJER F.K. (1963) Relationship between working time, physical working capacity and allowable calorie expediture in Muskelarbeit und muskeltraining Gentner pub. Stuttgart 86-98

- BOURLIERE F., PAROT S. (1962) Le vieillissement de deux populations blanches vivant dans des conditions très différentes Revue Française d'Etudes Cliniques et Biologiques 7 6 629-635

- BROUHA L. (1967) Physiology in industry Pergamon pub. Oxford.

- BRUN T., BONNY S. (1979) Variations saisonnières de la dépense énergétique des paysans en Haute Volta. Rapport interne INSERM-ORSTOM, Paris.

- BRUN T.A., GEISSLER C.A., MIRBAGHERI I., HORMOZDIARY M.S., BASTANI J., HEDAYAT H. (1979) The energy expenditure of iranian farmers and farm workers American Journal of Clinical Nutrition.

- BUI THU, LE GIA KHAI, PHAM QUY SOAN (1971) Quelques caractéristiques morphologiques et physiologiques chez les vietnamiens à l'âge du travail in Vien Ve Sinh Dich Te Noc Cong Trinh (Résumé des travaux de l'Institut National d'Hygiène et d'Epidémiologie - Hanoï - Vietnam) p. 183.

- CASILLAS L.E., VARGAS L.A. (1979) La ergonomia y la antropologia fisica Anales de Antropologia 16 387-406.

- CASILLAS L.E., VARGAS L.A., MARTINEZ MALO L.M. (1978) Antropometria de estudiantes y trabajadores universitarios Anales de Antropologia 15 297-309.

- CHAKRABORTY M.K., SENSARMA S.K., DARKAR D.N. (1979) Average daily energy expenditure of coal miners Indian Journal of Physiology 33 1-4 130-137

- CHAKRABORTY M.K., SENSARMA S.K., MULLICK P.K. (1979) Permissible limits for different mining work under various postural conditions Indian Journal of Physiology 33 1-4 54-64.

- CHAMLA M.C. (1972) Variations biométriques avec l'âge chez des ouvriers algériens Biométrie humaine 7 41-55.

- CHAUTIPUNT P. (1984) A study of environmental heat impact on foundry worker's body temperature M. Ph. Dissertation Occupational Health Department. Mahidol University. Bangkok, Thaïland.

- CHIN CHUAN (1972) An anthropometry study of the Chan-Ping Bulletin of the Department of Archeology and Anthropology 39-40 Nov.

- COLLINS K.J., BROTHERHOOD J.R., DAVIES C.T.M., DORE C., HACKETT A.J., IMMS F.J., MUSGROVE J., WEINER J.S., AMIN M.A. AWAD EL KARIM M.A., ISMAIL H.M., OMER A.H.S., SUKKAR M.Y. (1976) Physiological performance and work capacity of sudanese cane cutters with Schistosomia Manzoni infection American Journal of Tropical Medicine and Hygiene 25 410-421.

- COMMALA-MALO A., PUJOL A. (1965) Biometrics de Carmen z. Rev. Med. Empresa 3 4

- COMAS J. (1966) Manual de antropologia fisica Instituto de Investigaciones historicas UNAM Mexico 621-625.

- COMAS J. (1971) Anthropometric studies in latin american indian population in Salzano F; ed. The ongoing evolution of latin american populations Charles C. Thomas pub. Springfield Illinois, p. 333-404.

- COURTNEY A.J., WONG M.H. (1985) Anthropometry of the Hong-Kong male and the design of bus driver cabs Applied Ergonomics 16 4 259-266.

- CUELLAR A., CASTELLANO D.J.J., AYALA D., SALAZAR G., CORTES A. (1980) Analisis de la relacion Talla-Altura del plano de trabajo en los sistemas Hombre-Maquina es un empresa textil Ergonomica 1 1 37-48.

- DATTA S.R., CHATTERJEE B.B., ROY B.N. (1983) The energy cost of publing handcarts (Thela) Ergonomics 26 5 461-464.

- DAVIES C.T.M. (1979) Physical work capacity of the tropical worker in relation to productivity and iron deficiency anemia in Van Loon J.H., Staudt F.J., Zander J. Ergonomics in tropical agriculture and forestry. Center for Agricultural Publishing and Documentation pub Wageningen.

- DOBBINS D.A., KINDICK L.M. (1967) Anthropometry of the Latin-american armed forces Research Report 10 - Fort Clayton - Canal Zone U.S. Army Tropic Test Center.

- DUCROS F. (1955) Statistiques de biométrie médicale élémentaire relatives au personnel naviguant de l'Armée de l'Air Française in Anthropometry and human engineering Agardo graph 5 Butterworth pub., London.

- EL GHAWABI S.H., GABER M.F., AHMED S.H., SALLAN M. (1976) Anthropometric data of egyptian workers. Journal of the Egyptian Medical Association 61 3-4 177-202.

- FAULHABER J. (1971) La posibilidades de aplicacion de la antropologia fisica Anales de Antropologia 8 57-68.

- GARDNER G.W. (1973) Physical fitness of primitive peoples. The warao indian of Venezuela in Seliger V. physical fitness Charles University Press, Prague, 158-163.

- GHESQUIERE J.L.A. (1972) Physical development and working capacity of congolese in Vorster D.J.M. The human biology of environmental change Taylor and Francis pub.London p.117-120.

- GOSWAMI A., GHOSH A.K., GANGULI S., BANERJEE A.K. (1984) Aerobic capacity of severely disabled indians ERGONOMICS 27 12 1267-1269

- GUHARAY A.R., RAY S.N., DUTTA P.K., GUPTA J.P., MITRA D.K., CHAKRABORTY M.K. (1979) Ergonomics and physiological studies on mine rescue workers Indian Journal of Physiology 33 1-4 86-92.

- GUILLIEN J., REBIFFE R. (1986) Anthropometric models of a population of bus drivers in Oborne D.J., Levis J.A., Human factors in transport research Vol. 1 383-391 Academic Press New-York.

- HATTORI T., SUZUKI S., KOYAMA H., OGAWA K., AOKI S., IGARASHI T. (1985) Differential growth of body height and weight of rural and urban indonesian with special emphasis in modernization in Suzuki, Soemarwoto O. Health ecological survey in Indonesia in 1983-1984 Tanaka pub Shibukawa Japan

- HEDBERG G.E., NIEMI K. (1986) Physical and muscular strain in swedish tanker truck drivers Ergonomics 29 6 817-826

- HERTZBERG H.T.E., CHURCHILL E., DUPERTUIS C.W., WHITE R.M. DAMON A. (1963) Anthropometric survey of Turkey, Greece and Italy Agardograph 73 New-York Pergamon Press.

- HIERNAUX J. (1972) A comparison of growth and physique in rural, urban and industrial groups of similar origine : a few case studies from the Congo and Chad in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis, London 93-95.

- HORNABROOK R.W. (1977) Human adaptability in Papua and New Guinea in Harrison G.A. Population structure and human variation. Cambridge University Press, Cambridge, 285-312.

- HYODO K. (1985) Body constitution and muscular strength of Becak drivers in Bandung city Indonesia in Suzuki S., Soemarwoto O. Health ecological survey in Indonesia in 1983-1984 Tanaka pub Shibukawa Japan p. 4-11.

- KAY W.C. (1961) Anthropometry of the ROKAF (Republic of Korea Air Force) Journal of Aviation Medicine 9 61-113.

- KUKKONEN-HARJULA K., RAURAMAA R. (1984) Oxygen consumption of lumberjacks in logging with a power saw Ergonomics 27 1 59-65

- LANGE-ANDERSEN K. (1972) The effects of altitude variation in the physical performance capacity of ethiopian men in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis London 154-163.

- LEE S.Y. (1981) The development of an anthropometric model of Hong-Kong workers : a comparative study. Unpublished M. Phil. Thesis Department of industrial engineering University of Hong-Kong.

- LOCATI G. (1973) Communication personnelle à REBIFFE R. et coll. (1974) Autour de quelles dimensions faut-il concevoir la voiture pour satisfaire les exigences de confort et de la sécurité. Actes du XVe Congrès de la Fisita, Paris.

- MAITRA S.R. (1979) Physiological changes during graded work Indian Journal of Physiology 33 1-4 7.10.

- MALHOTRA M.S. (1966) People of India including primitive tribes - a survey on physiological adaptation physical fitness and nutrition in Baker P.T., Weiner J.S. The biology of human adaptability Clarendon Press pub Oxford p. 329-355.

- MANUABA A. (1976) Problems of ergonomics in Bali Journal of Human Ergology 5 117-131.

- HATTORI T., SUZUKI S., KOYAMA H., OGAWA K., AOKI S., IGARASHI T. (1985) Differential growth of body height and weight of rural and urban indonesian with special emphasis in modernization in Suzuki, Soemarwoto O. Health ecological survey in Indonesia in 1983-1984 Tanaka pub Shibukawa Japan

- HEDBERG G.E., NIEMI K. (1986) Physical and muscular strain in swedish tanker truck drivers Ergonomics 29 6 817-826

- HERTZBERG H.T.E., CHURCHILL E., DUPERTUIS C.W., WHITE R.M. DAMON A. (1963) Anthropometric survey of Turkey, Greece and Italy Agardograph 73 New-York Pergamon Press.

- HIERNAUX J. (1972) A comparison of growth and physique in rural, urban and industrial groups of similar origine : a few case studies from the Congo and Chad in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis, London 93-95.

- HORNABROOK R.W. (1977) Human adaptability in Papua and New Guinea in Harrison G.A. Population structure and human variation. Cambridge University Press, Cambridge, 285-312.

- HYODO K. (1985) Body constitution and muscular strength of Becak drivers in Bandung city Indonesia in Suzuki S., Soemarwoto O. Health ecological survey in Indonesia in 1983-1984 Tanaka pub Shibukawa Japan p. 4-11.

- KAY W.C. (1961) Anthropometry of the ROKAF (Republic of Korea Air Force) Journal of Aviation Medicine 9 61-113.

- KUKKONEN-HARJULA K., RAURAMAA R. (1984) Oxygen consumption of lumberjacks in logging with a power saw Ergonomics 27 1 59-65

- LANGE-ANDERSEN K. (1972) The effects of altitude variation in the physical performance capacity of ethiopian men in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis London 154-163.

- LEE S.Y. (1981) The development of an anthropometric model of Hong-Kong workers : a comparative study. Unpublished M. Phil. Thesis Department of industrial engineering University of Hong-Kong.

- LOCATI G. (1973) Communication personnelle à REBIFFE R. et coll. (1974) Autour de quelles dimensions faut-il concevoir la voiture pour satisfaire les exigences de confort et de la sécurité. Actes du XVe Congrès de la Fisita, Paris.

- MAITRA S.R. (1979) Physiological changes during graded work Indian Journal of Physiology 33 1-4 7.10.

- MALHOTRA M.S. (1966) People of India including primitive tribes - a survey on physiological adaptation physical fitness and nutrition in Baker P.T., Weiner J.S. The biology of human adaptability Clarendon Press pub Oxford p. 329-355.

- MANUABA A. (1976) Problems of ergonomics in Bali Journal of Human Ergology 5 117-131.

- MONOD H. (1981) Dépense énergétique chez l'homme in Scherrer J. Précis de Physiologie du Travail, Masson ed., Paris, 108-138.

- MORRISON J.F., WYNDHAM C.H., STRYDOM N.B., BETTENCOURT J.J., VILJOEN J.H. (1968) An anthropometrical survey of bantu mine labourers Journal of the South African Institute of mining, 275-279.

- NAG P.K. (1981) Predicting maximal oxygen uptake of workers engaged in agricultural tasks Journal of Human Ergology 10 25-33.

- NAG P.K., PANIKAR J.T., MALVANKAR M.G., PRADHAM C.K., CHATTERJEE S.K. (1982) Performance evaluation of lower extremity disabled people with reference to handcranked tricycle propulsion Ergonomics 13 3 171-176.

- NAG P.K., PRADHAM C.K., GOSWAMI A. (1985) Ergonomics in railway track maintenance work National Institute of Occupational Health. Ahmedabad - Report.

- NAG P.K., SEBASTIAN N.C., MALVANKAR M.G. (1980) Occupational workload of indian agricultural workers Ergonomics 23 2 91-102.

- NAG P.K., SEBASTIAN N.C., RAMANATHAN N.C., CHATTERJEE S.K. (1978) Maximal oxygen uptake of indian agricultural workers with reference to age and sex Journal of Madurai Kamaraj University 7 2 69-74.

- NAG P.K., SEN R.N. (1978) Cardiorespiratory performance of porters carrying loads on a treadmill Ergonomics 22 8 897-907

- NAG P.K., SEN R.N., RAY U.S. (1978) Optimal rate of work for mountaineers Journal of Applied Physiology 44 952-955

- NEWMAN M.T. (1962) Adaptations in the physique of american aborigenes to nutritional factors Human Biology 32 288-313

- NOORANI S.G., KENNEDY S.J., WHITE R.M. (1971) Anthropometric survey of imperial iranian armed forces United States Army Institute of Environment Medicine Natick Mas. U.S.A.

- NURSE G.T. (1972) The body size of rural and periurban adult males from Lilongwe district in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis London 105-109

- OBEROI F., DHILLON M.K., MIGLIANI S.S. (1983) A study of energy expenditure during manual and machine washing of clothes in India Ergonomics 26 4 375-378

- OJIKUTU R.O., FOX R.H., DAVIES C.T.M., DAVIES T.W. (1972) Heat and exercise tolerance of rural and urban groups in Nigeria in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis London 132-144

- ONG T.C., SOTHY S.P. (1986) Exercise and cardiorespiratory fitness Ergonomics 29 2 273-280

- OSHIMA M., FUJIMOTO T., OGURO T., TOBIMATSU N., MORI T., TANAKA I., WATANABE T., ALEXANDER M. (1962) Anthropometry of Japanese pilots Reports of the Aeromedical Laboratory Tokyo 2 70-115

- PHEASANT J. (1986) Bodyspace. Anthropometry, ergonomics and design Taylor and Francis pub London

- PHILIPPE J.V. (1976) Variations de quelques caractères biologiques chez un groupe d'asiatiques transplantés L'Anthropologie (Paris), 80 1 117-138

- PIMENTEL A.C.M. Contribution à l'étude fonctionnelle du soldat portugais de la région d'entre Douro et Minho

- PRAMPERO P.E.di, CERRITELLI P. (1969) Maximal muscular power aerobic and anaerobic in African natives Ergonomics 12 51-61.

- PUGH L.C.G.E. (1964) Muscular exercise at great altitude in Weihe W.H. The physiological effects of high altitude p. 209-210

- REBIFFE R., GUILLIEN J., PASQUET P. (1983) Enquête anthropométrique sur les conducteurs français Laboratoire de Physiologie et de biomécanique de l'Association Peugeot-Renault pub. Paris

- REBIFFE R., ZAYANA O., TARRIERE C. (1974) Autour de quelles dimensions faut-il concevoir la voiture pour satisfaire les exigences de confort et de sécurité ? Actes du XVe Congrès Fisita, Paris

- ROBERTS D.F. (1975) Population differences in dimensions, their genetic basis and their relevance to practical problems of design in Chapanis A. Ethnic variables in human factors engineering The John Hopkins University Press Baltimore p. 11-30

- ROEBUCK J.A., KROEMER K.H.E., THOMSON W.G. (1975) Engineering anthropometry methods Wiley ed. New-York

- SAHA P.N., DATTA S.R., BANERJEE P.K., NARAYANE G.G. (1979) An acceptable workload for indian workers Ergonomics 22 9 1059-1071

- SAHBI N. (1985) Anthropometrie comparée et transfert de technologie Le Travail Humain 48 1 47-58

- SAMANTA A., CHATTERJEE B.B. (1981) A physiological study of manual lifting of loads in Indians Ergonomics 24 7 557-564

- SEN R.N., SARKAR D.N. (1979) Occupational daily work load for indian industrial workers at three different thermal conditions Indian Journal of Physiology 33 1-4 78-83

- SENGUPTA J., DIMRI J.P., MALHOTRA M.S. (1977) Metabolic responses of indians during submaximal and maximal work in dry and humid heat Ergonomics 20 1 33-40

- SHAHNAVAZ H., TUXWORTH W. (1978) The physical working capacity of iranian steel workers Ergonomics 21 1 63-71

- SIQUEIRA L.A de A. (1976) Um estudio antropometrico de trabalhadores brasileiros Tese de mestre in Sciencia. Post Graduacao de Engenheria da Universidade Federale de Rio-de-Janeiro

- SLOAN A.W., WEIR J.B. de V. (1970) Nomograms for prediction of body density and total body fat from skinfold measurements Journal of Applied Physiology 28 2 221-222

- SOULA C., SCHERRER J., MOYNIER R., BOURGUIGNON C., BOURGUIGNON A., MONOD H. (1961) Aspects musculaires, sensoriels, physiologiques et sociaux de la fatigue Archives Maladies Professionnelles 22 419-446

- STRYDOM N.B., BENADE A.J.S., HEYNS A.J.A. (1971) Capacity for physical work of Bantu recruits weighting less than 50 kg Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 108-111

- SUMAMUR P.K. (1985) Anthropometric data of indonesian workers to be used for the purpose of ergonomics practice in Indonesia. Indonesian Journal of Industrial Hygiene, Occupational Health and Safety 26-32

- SUZUKI T. (1981) How great will the stature of japanese eventually become ? Journal of Human Ergology 10 13-24

- TANNER J.M. (1966) Growth and physique in different populations of mankind in Baker P.T., Weiner J.S., Clarendon Press Oxford 45-66

- TILDESLEY M.L. (1950) The relative usefulness of various characteristics of the living for racial comparison Man 50 14-18

- TOBIAS P.V. (1972) Growth and stature in southern african populations in Vorster D.J.M. The human biology of environmental change Taylor and Francis London p. 96-104

- TREMOLIERES J., BOULANGER P. (1950) Contribution à l'étude du phénomène de croissance et de stature en France de 1940-1948 Travaux de l'Institut National d'Hygiène 4 1 117

- TUXWORTH W., SHAHNAVAZ H. (1977) The design and evaluation of a step test for the rapid prediction of physical work capacity in an unsophisticated industrial work force Ergonomics 20 2 181-191

- VAN GRAAN C.H., WYNDHAM C.H., STRYDOM N.B., GREYSON J.S. (1972) Determination of the physical work capacities of urban and rural Venda males in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis London p. 129-130

- SENGUPTA J., DIMRI J.P., MALHOTRA M.S. (1977) Metabolic responses of indians during submaximal and maximal work in dry and humid heat Ergonomics 20 1 33-40

- SHAHNAVAZ H., TUXWORTH W. (1978) The physical working capacity of iranian steel workers Ergonomics 21 1 63-71

- SIQUEIRA L.A de A. (1976) Um estudio antropometrico de trabalhadores brasileiros Tese de mestre in Sciencia. Post Graduacao de Engenheria da Universidade Federale de Rio-de-Janeiro

- SLOAN A.W., WEIR J.B. de V. (1970) Nomograms for prediction of body density and total body fat from skinfold measurements Journal of Applied Physiology 28 2 221-222

- SOULA C., SCHERRER J., MOYNIER R., BOURGUIGNON C., BOURGUIGNON A., MONOD H. (1961) Aspects musculaires, sensoriels, physiologiques et sociaux de la fatigue Archives Maladies Professionnelles 22 419-446

- STRYDOM N.B., BENADE A.J.S., HEYNS A.J.A. (1971) Capacity for physical work of Bantu recruits weighting less than 50 kg Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 108-111

- SUMAMUR P.K. (1985) Anthropometric data of indonesian workers to be used for the purpose of ergonomics practice in Indonesia. Indonesian Journal of Industrial Hygiene, Occupational Health and Safety 26-32

- SUZUKI T. (1981) How great will the stature of japanese eventually become ? Journal of Human Ergology 10 13-24

- TANNER J.M. (1966) Growth and physique in different populations of mankind in Baker P.T., Weiner J.S., Clarendon Press Oxford 45-66

- TILDESLEY M.L. (1950) The relative usefulness of various characteristics of the living for racial comparison Man 50 14-18

- TOBIAS P.V. (1972) Growth and stature in southern african populations in Vorster D.J.M. The human biology of environmental change Taylor and Francis London p. 96-104

- TREMOLIERES J., BOULANGER P. (1950) Contribution à l'étude du phénomène de croissance et de stature en France de 1940-1948 Travaux de l'Institut National d'Hygiène 4 1 117

- TUXWORTH W., SHAHNAVAZ H. (1977) The design and evaluation of a step test for the rapid prediction of physical work capacity in an unsophisticated industrial work force Ergonomics 20 2 181-191

- VAN GRAAN C.H., WYNDHAM C.H., STRYDOM N.B., GREYSON J.S. (1972) Determination of the physical work capacities of urban and rural Venda males in Vorster D.J.M. The human biology of environmental changes Taylor and Francis London p. 129-130

- VARGAS L.A., CASILLAS L.E., LUJAN J.M. (1975) Morfologia externa de un grupo de jovenes mexicanos Anales de Antropologia 12 85-101

- WHITE R.M. (1964a) Anthropometric survey of the Royal Thaï Armed Forces U.S. Army Natick Labs - Natick Mass. U.S.A.

- WHITE R.M. (1964b) Anthropometric survey of the Armed Forces of the Republic of Vietnam U.S. Army Natick Labs - Natick. Mass. U.S.A.

- WISNER A., REBIFFE R. (1963a) Remarques sur la dispersion des dimensions anthropométriques et l'unicité du matériel produit en série Le Travail Humain 26 1-2 129-139

- WISNER A., REBIFFE R. (1963b) Méthods of improving workplace layout International Journal of Production Research, 2 2 145-167

- WYNDHAM C.H. (1973) The work capacity of rural and urban Bantu in South Africa South Africa Medical Journal 47 1239-1244

- WYNDHAM C.H., HEYNS A.J. (1969) Determinants of oxygen consumption and maximum oxygen intake of Bantu and Caucasian International Zeitschrift fur Angewendte Physiologie 27 51-75

- WYNDHAM C.H., STRYDOM N.B., MORRISON J.F., PETER J., WILLIAMS C.J., BREDELL A.G. (1963) Differences between ethnic groups in physical working capacity Journal of Applied Physiology 18 2 361-366

- WYNDHAM C.H., STRYDOM N.B., MORRISON J.F., PETER J., MARITZ J.S., WARD J.F. (1962) The influence of a stable diet and regular work on body weight and capacity for exercise in african mines recruits Ergonomics 5 3 435-444

- WYNDHAM C.H., STRYDOM N.B., WILLIAMS C.G., ROHDEN M. (1962) A physiological basis for the "optimum" level of energy expenditure Nature 195 1210-1212

Résumé

Dans de nombreux pays en développement industriel, des données relatives aux caractéristiques physiques des populations ont été recueillies à des fins scientifiques et techniques diverses et publiées de façon très dispersée. Des résultats obtenus dans 39 pays et décrits dans 103 publications ont été retenus.

L'interprétation des données porte moins sur les différences ethniques habituellement soulignées que sur l'influence de facteurs biologiques, sociaux, économiques ou géographiques comme le sexe, l'âge, l'état de santé, le milieu socio-professionnel, l'altitude ou le climat.

Les conséquences ergonomiques de cette réflexion portent sur les caractéristiques dimensionnelles des situations de production ou de l'objet industriel. Certains produits comme les automobiles peuvent convenir à la population mondiale des acheteurs. Par contre, les machines ou les outils industriels et surtout agricoles doivent être liés aux caractéristiques régionales des utilisateurs.

D'autres considérations ergonomiques sont liées à la limitation parfois sévère des forces physiques de beaucoup de populations des pays en développement industriel. Les efforts à exercer, les charges à soulever, les distances à parcourir sur de mauvais terrains ont des effets modérés ou dangereux en fonction des capacités physiques des personnes considérées. Les capacités réelles des travailleurs, ainsi mises en évidence, ont un effet important sur la production et le développement économique. Le maintien et l'accroissement de ces capacités peuvent être obtenus selon des modalités précises.

TABLEAUX DES DONNEES ANTHROPOMETRIQUES ET DE MESURES DE LA CAPACITE PHYSIQUE DANS DIVERS PAYS EN DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Avril 1987

Ces tableaux ont été préparés à l'occasion de la rédaction de l'article "Diversité des caractéristiques physiques dans les pays en développement industriel" qui a été publié dans le numéro de Septembre 1989 d'"Industrial Ergonomics". Leur publication en anglais avait été envisagée puis fut abandonnée. C'est la version anglaise qui paraît ici.

ANTHROPOMETRIC DATA

TABLE OF CONTENTS

I.I. DIVERSE MALE INDIAN GROUPS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
AGRICULTURAL WORKERS		131	27	157	45	1.50	7	42	1.91	42				
	YOUNG	74	22.23	157	46		7	43	2.01	44	184			
COUNTRY WORKING PEOPLE OF EASTERN INDIA	(SEN. NAG) 1977-1979)	192	21	161	46		4	44						
MINERS		154	31	161	49				1.9	39				
RAILWAY TRACK MAINTENANCE		50	30	163	48				1.9	40				
LOAD CARRIERS			30	164	50				2.3	44				
SUERPAS		11	28	160	54	158	7	50	3.8	73				
INDUSTRY WORKERS		2460	35 ?	164	55				2.3	41				
STUDENTS		352	2	167	53				2.5	41				
SOLDIERS		10	26	168	59				2.7	45	197			
MINE RESCUE WORKERS		40	32	170	62				1.8	29	180			

1.2. INDIAN MALE AGRICULTURAL WORKERS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2MAX$ l/min	$\dot{V}O_2MAX$ ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
NAG P.K. 1981	Male agri-cultural workers remote village													
	20.29 y	39	22	155	46	1.51	4	44	2.16	47	188			
	30.39 y	15	34	156	43	1.46	5	41	1.98	46	184			
	40.49 y	4	43	154	42	1.40	7	39	1.76	42	173			
NAG P.K. 1982	Male young agricultural workers	10	22	158	49				2.20	45	187			
NAG P.K. DUTT P. 1980	Male agricultural workers East India	5	23	165	50	1.62	6	47	2.06					
NAG P.K. SEBASTIAN N.C. MALVANKAR N.G. 1980	Male agricultural workers	22	33	158	44 summer	1.50			1.67	38				

1.2. INDIAN MALE AGRICULTURAL WORKERS (continued)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY from fat %
NAG P.K. SEBASTIAN N.C. MALVANKAR N.G. 1980 ERGONOMICS	Male agri-cultural workers East and West India	13	27	158	45	1.49	9	41	1.50	35		11.9	8	9	
	Young		23							43					
	Old		45							36					
NAG P.K. SEBASTIAN N.C. RAMANATHAN N.C. CHATTERJEE S.K. 1978	Male Indian agricultural workers	23	33	158	44	1.49	9	41	1.72	39					
	Young	11	23	159	45	1.51	11	40	1.94	43	180				
WISNER calc	m	131	27	157	45	1.50	7	42	1.91	42					
	m young	74	22.23	157	46		7	43	2.01	44					

1.3. INDIAN MANUAL WORKERS OUTSIDE AGRICULTURE AND INDUSTRY - MALES

(MINERS, RAILWAY TRACK MAINTENANCE)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY fro fat %
CHAKRABORTY M.K. SENSARMA S.K. MULLICK P.K. 1979	MINERS DHANBAD	22	29	161	49				1.9	39					
CHAKRABORTY M.K. SENSARMA S.K. SARKAR P.N. 1979	MINERS DHANBAD	132	32		49										
GUHARAY A.R. RAY S.N. DUTTA P.K. GUPTA J.P. MITRA D.K. CHAKRABORTY M.K. 1979	MINE RESCUE WORKERS DHANBAD	40	32,5	170	62				1.8	29	180				
	Young		26						2.1		200				
	Old (>40y)		44						1.6		170				
NAG P.K. PRADHAM C.K.	RAILWAY TRACK MAINTE-NANCE ALL INDIA	50	30	163	48				1.9	40					

1.4. INDIAN MANUAL WORKERS OUTSIDE AGRICULTURE, INDUSTRY, MINES AND RAILWAYS (PULLERS, CARRIERS, WEAVERS)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2MAX$ l/min	$\dot{V}O_2MAX$ ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY fro fat %
DATTA S.R. CHATTERJEE B.B. ROY B.N. 1978	RICKSHAW PULLERS (CALCUTTA)	10	34	162	48	1.48									
DATTA S.R. CHATTERJEE B.B. ROY B.N. 1983	THELA PULLERS (CALCUTTA)	10	30	165	50										
DATTA S.R. GANGULI S. 1979	THELA PULLERS (CALCUTTA)	50	31	164											
DATTA S.R. CHATTERJEE B.B. ROY B.N. 1979	LOAD CARRIERS (BENGAL)	5	35	164	49										
NAG P.K. SEN R.N.	PORTERS NEPALESE DARJEELING 2.000 m	4	32	162	53	1.58	8	49	41.3	82					

I.4. INDIAN MANUAL WORKERS OUTSIDE AGRICULTURE, INDUSTRY, MINES AND RAILWAYS (PULLERS, CARRIERS, WEAVERS) (continued)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY fr fa %
NAG P.K. SEN R.N. RAY U.S. 1978 AN RAY	PORTERS SHERPA 3.660m	7	26	159	54	1.60		51	3,6	67					
SEN R.N. NAG P.K. 1975	LOAD CARRIERS (EASTERN INDIA)	27	27	163	47										
SAMANTA A. CHATTERJEE B.B. 1981	LOAD CARRIERS SOAP INDUS-TRY (CALCUTTA)	21	29	166	52	1.57			2.3	44					
SEN R.N. GHOSHTAKUR D. 1984	HAND-LOOM WEAVERS	10	29	164	57										
WISNER m		144	30	164	50										

1.5. INDIAN MALE INDUSTRIAL WORKERS (continued)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
DUTTA S.P. NAIK 1979	Heavy Engineering Industries Workers BOMBAY (Physically fit)	852	20.50	165										
SAHA N.A. 1973	Radio Manufacture Workers BOMBAY	236		163										
SAHA N.R. 1973	Pharmaceutical Factory workers BOMBAY	284		165										
SAHA P.N. DATTA S.R. BANERJEE P.K. NARAYANE G.C. 1979	Industrial Workers	5	22	168	55				2.48	45				
SEN R.N. 1964	Diverse Industrial workers	499		164										

1.5. INDIAN MALE INDUSTRIAL WORKERS (continued)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
SEN R.N. SARKAR D.N.	Diverse Industrial Workers	84	33	165	56				2.31	41				
	20-29 y	37	26	166	54				2.46	45				
	30-39 y	31	34	164	55		70		2.33	45				
	40-59 y	16	49	167	62		77		2.13	35				
	Light work								1.67	31				
	Mod. Heavy								1.91	36				
	Heavy								2.27	41				
	Vesty Heavy								2.56	42				
	Extres Heavy								3.17	56				
	t = 21.°3								2.31	41				
	t = 27.°1								2.05	36				
	t = 32.°4								1.81	32				
SENGUPTA SEN R.N. 1964	Textile Mills All INDIA	500		163										
WISNER m				164	55				2.3	41				

1.6. INDIAN MALE PRIVILEGED GROUPS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY fr fa %
ANDYOPADHYAY	MALE COLLEGE														
CHATTOPADHYAY	STUDENTS														
1981	EAST INDIA (16-25y)														
	SEDENTARY	188	19,5	165	50	1.59									
	ACTIVE	164	19,5	168	52	1.63									
GHOSH A.K.	"NORMAL"														
GANGULI S.	SEDENTARY														
BOSE K.S.	MALES (CALCUTTA)	20	29	165	47										
1982															
GHOSH A.K.	"NORMAL"														
TIBAREWALA D.V.	SEDENTARY														
DASGUPTA S.R.	MALES (CALCUTTA)	6	28	165	51										
GOSWAMI A.															
GANGULI S.															
1980															
GOSWAMI A.	"NORMAL"								at/180b/m	at.180b/m					
GHOSH A.K.	SEDENTARY														
GANGULI S.	(CALCUTTA)	9	26	166	54				1.77	29					
BANERJEE A.N.															
1984															

1.6. INDIAN MALE PRIVILEGED GROUPS (continued)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY from fat %
NDIAN ARMED ORCES	SOLDIERS 1969	4000	27	168											
MAITRA S.R. 1979	MALE STUDENTS		12.15	154	41				1.57	38	195				
			16.20	169	51				1.90	37	208				
			21.25	169	58				2.49	43	230				
SENGUPTA J. DIMRI G.P. MALHOTRA M.S. 1977	"HEALTHY" SOLDIERS (PROFESSIO-NAL ?)	10	26	168	59										
	CONFORTABLE CLIMATE								2.66	45	197				
	VERY HOT 31.2 DRY / HUMID								2.54 2.40	43 41	196 195				
	EXTREMLY HOT DRY / HUMID								2.37 2.29	40 39	197 198				
WISNER calc	MALE STUDENTS		20	167	53				2.50	41					

1.7. INDIAN HANDICAPED WORKERS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
NAG P.K. PANIKAR J.T. MAZVANKAR M.G. PRADHAM C.K. CHATTERJEE S.K. 1982	Hand-cranked tricycle users	9	22	77 sitting on floor	40	28		33	78 arm action (1/2 normal)		186			
GHOSH A.K. GANGULI S. BOSE K.S. 1982	Lower limbs handicaped without device	16	23	157	40									
GHOSH A.K. TIBAREWALA DN DASGUPTA S.R. GOSWAMI A. GANGULI S. 1980	Lower limbs handicaped using axillary crutches	6	30	157	48									
GOSWAMI A. GANGULI S. BOSE K.S. CHATTERJEE B.B. 1986	Lower limbs severely handicaped tricycle users	61	24	139	41									
GOSWAMI A. GHOSH A.K. GANGULI S. BANERJEE A.K. 1984	Lower limbs severely handicaped wheelchair users	7	32	133	39				at 180b/m 1.15	27				

1.8. INDIAN FEMALE AGRICULTURAL WORKERS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY from fat %
NAG P.K. BASTIAN N.C. MANATHAN N.C. ATTERJEE S.K. 978	Female Indian poor agricultural villagers (GUJARAT) (20.29)	15	34	150	38	142	16	32	1,07	27	167				
		4	21	149	37	140	19	30	1,30	35	176				
NAG P.K. ATTERJEE S.K. 971	Female Indian poor agricultural workers (East India)	8	30	149	41	140	17	34					87	9	4
SEN R.N. ANGULI A.K. RAY G. DE A. HAKRABARTI D.	Female Tea leaf pluckers (ASSAM)	12	26	149	40		13	35							
WISNER calc				139	49										

1.9. INDIAN FEMALE PRIVILEGED GROUPS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %	ENERGY from fat %
MAITRA S.R.	FEMALE														
BANERJEE P.K.	STUDENTS														
CHATTERJEE P.			10		22				86	40					
CHATTERJEE S.	(CALCUTTA)		18		41				1.48	36					
(1979)															
OBEROÏ K.	FEMALE														
DHILLON M.K.	STUDENTS	15	21	155	49	1.45			1.55	32					
MIGLIANI S.S.	LUDHIANA														
(1983)	(PUNDJAB)														

EASTERN ASIA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	from carb hydr %
	MALE WORKERS TERTIARY ACTIVITIES BALI		25	167	57								
	STUDENTS DENPASAR BALI	600	17-20	164									
	MALES												
	FEMALES	557	17-20	154									
SUGENG BUDIONO 1985	FEMALE CIGARETTE WORKERS JAVA	120	21	151	45								
SUMA'MUR 1985	MALES CONSTRUCTION WORKERS JAVA	5	27	157	47								
SUMA'MUR 1985	MALES INDUSTRIAL WORKERS	949	20-50	162									
	FEMALES INDUSTRIAL WORKERS	468	20-50	152									

EASTERN ASIA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2MAX$ l/min	$\dot{V}O_2MAX$ ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	from carb hydr %
2.1. CHINA													
CHIN CHUAN 1972	ADULT MALES CHANG-PING	263	20-59	165									
LEE S.Y. in COURTNEY A.J. WONG M.H. 1985	ADULT MALES HONG-KONG		20-55	168									
2.2. CAMBODJIA													
PHILIPPE J.V. 1976	MALES STUDENTS IN PARIS	222	28	165	57								
2.3. INDONESIA													
HATTORI et coll. 1985	JAVA VILLAGE MALES	474	20	160	55								
	VILLAGE FEMALES (JAVA)	447	20	148	44								
	SMALL TOWN MALES JAVA	1606	20	165	53								

EASTERN ASIA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2MAX$ l/min	$\dot{V}O_2MAX$ ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	E from carbo hydra: %
	SMALL TOWN FEMALES JAVA	1164	20	154	45								
	BANDUNG MALES	325	18	163	52								
	BANDUNG FEMALES	342	18	153	50								
HYODO 1985	BANDUNG MALES BECAK DRIVERS	18	36	161	55								
	JAVA MALES FARMERS	14	39	158	50								
MANUABA 1976	MALE FARMERS BALI	5		162	54								
	MALE FARMERS BALI	140	20-50	162	51								
	MALE MANUAL WORKERS BALI		25	162	52								

EASTERN ASIA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from protein %
SUMA'MUR 1985	MALE INDUSTRIAL PHYSICIANS		41	170	71									
2.4. JAPAN HYODO	MALE STUDENTS 1932			163	56									
	1982			172	62									
	FEMALE STUDENTS 1932			152	50									
	1982			158	52									
OSHIMA 1965	PILOTS	239	24	167	61									
SUZUKI 1981	WHOLE MALE POPULATION 1945			162										
	1980			170										
JAPAN STATISTICAL YEARBOOK 1972	WHOLE MALE POPULATION													
	20.29			165										
	30.39			163										
	40.49			162										
	50.59			160										
	60.69			157										
	WHOLE FEMALE													
	20.29			153										
	30.39			151										
	40.49			150										
	50.59			148										
	60.69			145										

EASTERN ASIA

	AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %
2.5.	KOREA KAY 1961	MILITARY FORCES	3473	25	164	60								
2.6.	LAOS PHILIPPE J.V. 1976	MALE STUDENTS IN PARIS	136	26	163	55								
2.7.	PAPUASIA NEW-GUINEA 1977	FARMERS LOW LANDERS MALES			165	58				2,3	40		8.2	
		FEMALES			156	52							5.9	
		HIGH LANDERS MALES			162	60				3	50		10.5	
		FEMALES			152	52							8.8	
2.8.	SINGAPORE ONG and SOCHY 1986	MALES ALL ETHNIC AND PROFES-SIONAL GROUPS	255	28	166	61								

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2MAX$ l/min	$\dot{V}O_2MAX$ ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	f p t
	physically non active	69								40				
	runners 1/2 times/ week	66								41				
	runners 9/4 times/ week	82								46				
	runners 3/7 times/ week	38								45				
2.9. THAILAND														
CHAUTIPUNT 1984	FOUNDRY WORKERS													
	MALES	22	29	164	52									
	FEMALES	14	24	156	49									
WHITE 1964a	THAI ARMED FORCES	2950	24	163	56									
2.10. VIETNAM														
BUI THU et coll. 1971	VIETNAM WORKERS													
	MALES			158	48									
	FEMALES			150	44									

EASTERN ASIA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from fat %
PHILIPPE J.V. 1976	SOUTH VIET-NAM MALE STUDENTS IN PARIS	30		162	50									
WHITE 1964b	ARMED FORCES South Vietnam	2950	27	161	51									

SOUTH AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY fro pro te:
STRYDOM N.B. WILLIAMS C.G. 1969	YOUNG BANTOU RECRUITS	47		166	58				2.57	44				
	AFTER 14 DAYS TRAINING	47		166	60				2.7	45				
TOBIAS 1972	SOUTHERN AFRICAN BANTU SPEAKING			167										
VAN GRAAN C.H. WYNDHAM C.H. STRYDOM N.B. GREYSON J.S. 1972	VENDA MALES													
	RURAL		33		57				39.9	39.9				
	URBAN		40		64				40,5	40,5				
	RURAL													
	16-25y				57					40				
	26-35y				58					42				
	36-45y				58					41				
	46-55y				56					40				
	URBAN													
	16-25y				60					40				
	26-35y				66					43				
	36-43y				64					40				
	46-55y				65					38				

SOUTH AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-tein %
BUSHMEN														
TOBIAS P.V. 1972	BUSHMEN SOUTH AFRICA After 1935 MALES			156										
	After 1950 MALES			159										
	Before 1935 FEMALES			148										
	After 1950 FEMALES			150										
WYNDHAM 1963	BUSHMEN	3		161	51	152			2.39	47				
	BUSHMEN	23		158	47	1.48	4,5							
CALC WISNER 1935 1950	MALES					156 159								
1935 1950	FEMALES					148 150								

SOUTH AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY fr pr te
WILLIAMS G.G. DURAAN A.J.M. VON RAHDEN M.J. WYNDHAM C.H. (1968)	HIGHLY TRAINED BANTU	23		168	63				3.19	51				
WILLIAMS C.G. WYNDHAM C.H. MORISON J.F. HEYNS A. (1966)	BANTU MINE LABOURERS	16		166	60				2.58					
WYNDHAM (1972)	BANTU (MINERS)	124		166,5	57	1,64	5,5							
WYNDHAM C.H. (1973)	BANTU													
	RURAL	241	33		57				2.26	40				
	URBAN	240	40		64				2.60	41				
	PEDI RURAL	202	32		56				2.10	38				
	URBAN	223	34		61				2.53	42				
WYNDHAM C.H. HEYNS A. (1967)	BANTU MINE LABOURERS	5		167	70									
WYNDHAM C.H. HEYNS A. 1960	BANTU MINE RECRUITS	45		166	60				2.12	36				
	BANTU MINE RECRUITS	41			61				2.39	39				
	AFTER GOOD DIET AND TRAINING				63				2.82	45				

SOUTH AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from protei %
WYNDHAM C.H. MORISSON J.F. VILJEN J.H. STRYDOM N.B. HEYNS R. (1969)	BANTU AGAIN RECRUITS	6		166	68	1.76			3.05	45				
WYNDHAM C.H. STRYDOM N.B. MORRISON J.F. PETER J. MARITZ J.S. WARD J.S. (1962)	BANTU MINE RECRUITS AFTER 1 MONTH AFTER 4 MONTHS	20 20 20		168 168 168	55 58 58	1.76			2.32 2.73 2.83	42 47 49				
WYNDHAM C.H. STRYDOM N.B. MORRISON J.F. PETER J. WILLIAMS C.G. BREDELL A.G. (1963)	SOUTH AFRICAN BANTU (1) (2) HARDWORKERS BANTU (3) BANTU (4)	23		166	59 58 67 55 59	166			2.85 2.75 3.18 2.27 2.63	48 48 48 41 45				
WYNDHAM C.H. STRYDOM N.B. MORRISON J.F. WILLIAMS C.G. BREDEL G.A.G. HEYNS A. (1966)	BANTU MINE RECRUITS	6		168	59				2.63	44.6				

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY fro pro tei %
3.2. BANTU MINERS														
APPLIED PHYSIOLOGY LABORATORY	RURAL			168	58				2.26	39				
	RECRUITS	624		168	57	171			2.41	42	180			
	MINERS	1069		168	60				2.95	49				
	URBAN			168	63				2.57	41				
DEVILLERS SH 1972	VENDA MALES													
	URBAN	148		166,9	64									
	RURAL	199		166,5	57									
MORRISON J.F. WYNDHAM C.H. STRYDOM N.B. BETTENCOURT J.J. VILJOEN J.H. 1968	BANTU MINE LABOURERS (5 GROUPS)	485		169	60									
STRYDOM N.B. BENADE A.J.G. HAYNS A.J.A. 1971	BANTU MINE RECRUITS WEIGHTING LESS THAN 50 KG	164	31	158	47	162			2.12	45	181			

SOUTH AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY fro pro tei %
WYNDHAM C.H. WILLIAMS C.G. WATSON M.I. MUNRO A.H. (1967)	BANTU MINE RECRUITS	106		167	59		419		2.35	40				
	BANTU MINE LABOURERS	4		167	64					46				
3.3. NON BLACK PEOPLE LIVING IN SOUTH AFRICA														
WYNDHAM (1972)							SKINFOLD							
	SOUTHAFRICAN WHITES	142		175	69	1.85	7.7							
	FRENCHMEN	15		170	70	1.81	9.8							
	AUSTRALIAN	7		175	77	1.93								

BLACK AFRICA (EXCEPT SOUTH AFRICA)

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-tein %
4.1. BURKINA-FASSO														
BRUN T. BUNNY S. (1979)	MOSSIS AGRICULTEURS													
	HOMMES													
	SAISON SECHE	28	20.39		61									
	PLUIES	16	20.39		58									
	SAISON SECHE	22	40-59		59									
	PLUIES	17	40-59		57									
	FEMMES													
	SAISON SECHE	51	20-39		53									
	PLUIES	29	20-39		51									
	SAISON SECHE	26	40-59		48									
	PLUIES	16	40-59		46									
4.2. ETHIOPIA	ETHNIE						SKIN THICKNESS				Hb g/100ml			
LANGE-ANDERSEN K. (1972)	DEBARECH 3000 m.	49	38	168	56		22		1.78	32	15			
	ADI ARKHAI 1500 m.	36	38	170	54		18		187	35	13 (83%			
4.3. KENYA														
DI PRAMPERO CERITELLI (1969)	NILO-HAMITICS		30		58				2.8	48				
	BANTUS		30		59				2.7	46				

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
4.4. MALAWI														
NURSE G.T. (1972)	MALAWI													
	LILONGWE PERI-URBAN	62		167	Seasonal fluctuations									
	LILONGWE RURAL	80		165										
4.5. NIGERIA														
OJIKUTU R.O. FOX R.N. DAVIES T.W. DAVIES C.T.M. (1972)	HEAVY INDUSTRIES	24	25	170	62	172	17%	51	3.35	57				
	LIGHT INDUSTRIES	15	25	166	54	1.60	17%	45	2.55	47				
	VILLAGERS	7	25	169	62	1.70	16%	52	2.99	49				
	M. STUDENTS	17	27	173	69	1.81	20%	55	3.03	45				
	F. STUDENTS	8	22	161	53	1.54	21%	42	1.69	32				

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY fro pro tei %
4.6. SUDAN														
AWAD EL KARIM M.A.	VILLAGERS (GEZIRA)													
COLLINS K.J.														
BROTHERHOOD J.R.	NONINFECTED Hb:15g/100ml	37	26	169	57			50	2.24	39				
DORE C.														
WEINER J.S.														
SUKKAR M.Y.	INFECTED BY SCHIZ STOMIASIS	147	27	169	56			49	2.21	39				
OMER A.H.S.	Hb: 15g/100ml													
AMIN A. (1980)	CANAL CLEANERS Hb:13mg/100ml	19	27	172	57			52	2.17	38				
AWAD EL KARIM M.A.	VILLAGERS MALES(GEZIRA)	37	26	169	57			50	2.71	49				
SUKKAR M.Y.														
COLLINS K.J.	TOWNSMEN	17	30	170	62			52	2.58	42				
DORE C. (1981)	SERVICE MEN (ALL SUDAN)	21	28	174	71			61	3.54	50				

BLACK AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
COLLINSK and coll. (1976)	CANECUTTERS GUNEID										Hb:8/100ml			
	NON INFECTED 16-24 Y	27	21	174	59			53	2.23	38	12.4			
	INFECTED 16-24 Y	41	21	172	56			51	2.16	39	11.5			
	SERIOUSLY INFECTED 16-24	31	21	172	58			52	2.26	39	Hb:g/100ml 11.7			
	NON INFECTED 25-45	26	32	173	58			53	2.13	37	12.8			
	INFECTED 25-45	43	31	174	61			55	2.20	36	12.2			
	SERIOUSLY INFECTED	26	33	175	59			54	2.21	37	11.9			
	SOLDIERS	16	26	174	60									

	AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-tein %
4.7.	TANZANIA														
	DAVIES C.T.M. (1979)	SUGAR CANE CUTTERS													
		HIGH PRODUCERS	20							3.2	51				
		MED.PRODUCERS	19							2.95	48				
		LOW PRODUCERS	19							2.80	47				
		OLDER MEN	20							2.76	43				
		HEALTHY	16	27	167	55				2.88	52	14.5			
		MOD. ANAEMIC	7	24	164	51				2.20	43	9.2			
		ANAEMIC	10	22	164	54				1.90	35	6..7			
4.8.	TCHAD														
	HIERNAUX J. (1972)	SARA MAJINGAY													
		FORT-ARCHAMBAULT (TOWN)	308		176										
		NDILA (VILLAGE)	124		174										

BLACK AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
4.9. ZAIRE														
GESQUIERE (1972)	MALES INDUSTRIAL WORKERS	50		169	58				2.50	42				
	STUDENTS	37		172	62				2.75	44				
	LUMBER JACKS	21		167	56				2.56	48				
	SOCCER CHAMPIONS	22		172	66				3.46	53				
	KINSHASA SCHOOL BOYS HIGH INCOME		11.5	143	35									
	SCHOOL BOYS LOW INCOME		11.5	132	27									
	TOWN/COUNTRY													
	KINSHASA		17	162	52									
	RURAL			154	47									
	GIRLS													
	TOWN: MOD. INCOME		17	162	53									
	POOR COUNTRY			158	48									
				155	47									

BLACK AFRICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
	MALE (EQUATEUR) PROVINCE MUTU	27		169	58				2.49	43				
	TWA (PYGMOIDS)	23		160	51				2.41	48				
HIERNAUX J. (1972)	LUBA-BATANGA in LUMUMBASHI	112		164	57									
	LUBA MASAI in LUMUMBASHI (RAILWAY BUILDING)	214		167	60									

LATIN AMERICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY fro pro te
LATIN AMERICA DOBBINS D.A. KINDICK C.M. (1967)	SOLDIERS OF 18 LATIN AMERICA COUNTRIES MEASURED IN U.S.A.	723	23	166	63									
BRASIL SIGUERA 1976	INDUSTRIAL WORKERS SAO PAOLO BRESIL	249		168	64									
NEWMAN 1962	Amazonians Indians			154-159	55-58									
BAKER (1966)	SHIPIBO INDIANS			159	59									
GARDNER (1973)	WARAO INDIANS									51				

LATIN AMERICA

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	ENERGY from carbo hydrates %	ENERGY from pro-teins %
CASILLAS L.E. VARGAS L.A. MARTINEZ M.L.N. 1978	UNAM MALE WORKERS			164										
CUELLAR A. et coll. 1980	TEXTILE INDUSTRY MALE WORKERS MEXICO AREA	50		161										
FAULHABER J. 1976	JALAPA WORKERS (MESTIZOS)			162										
	CORDOBA WORKERS (MESTIZOS)			159										
COMAS 1971	MAYAS TZOTZILES VILLAGERS CHIAPAS STATE			153										

ANTHROPOMETRIC DATA

OF MEDITERRANEAN COUNTRIES AND SOME OF THEIR NEIGHBOURS

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$ MAX l/min	$\dot{V}O_2$ MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	from carbo hydrates %
6.1. NORTH AFRICA													
6.1.1. ALGERIA													
BOURLIERE et PAROT	Kabyles Algérians	346	20 to 49 Y	168									
	Farmers		50 to 59 Y	166									
CHAMLA M.L.	Algérians workers living in France	454	35										
			20 to 49 Y	169									
			50-59	166									
REBIFFE (1973)	Algérians workers	621	20-60	169									
6.1.2 EGYPT													
EL GAWABI and coll. (1978)	Workers in the province of Qalubia	7800	20-59	168	66								
		2753	20-29	168	60								
		2910	30-39	169	67								
	males	1573	40-49	168	73								
		564	> 50	165	67								
	Females	2200	20.59	160	65								
		1591	20.29	160	62								
		405	30.39	161	76								
		183	40.49	160	71								
		21	50	157	69								

ANTHROPOMETRIC DATA OF MEDITERRANEAN COUNTRIES
AND OF SOME OF THEIR NEIGHBOURS

EN:

	AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	from carbo hydrate %
6.1.3.	MOROCCO REBIFFE (1973)	Males workers	636	20 à 60Y	169									
6.1.4.	TUNISIA REBIFFE (1973)	Males workers	500	21.54	169									
	SAHBI N. (1981)	Tunisiens miners	145		169	61								
6.2.	SOUTHERN EUROPE													
6.2.1.	FRANCE DUCROS (1955)	AIR FORCE CREW MEMBERS	7084		171	66								
	REBIFFE (1982)	General Population males females (for socio-professional groups and regions see tab.II and III	 1500 1500	 18.77 18.79	 172 160									

ANTHROPOMETRIC DATA OF MEDITERRANEAN COUNTRIES
AND SOME OF THEIR NEIGHBOURG

	AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	from carbo hydrates %
6.2.2.	GREECE HERTZBERG and coll. (1963)	Greek soldiers	1084	23	170	67								
6.2.3.	ITALY HERTZBERG and coll. (1963)	Italian soldiers	1358	27	171	70								
	LOCATI (1973)	Italian workers Males	400	20.60	168									
		Females	431	20.40	157									
6.2.4.	PORTUGAL PIMENTEL A.C.M.	Farmers and soldiers Northern Portugal			164									
	PIMENTEL A.C.M.	Males Porto			165									
	PIMENTEL A.C.M.	Young males		21	167									
	REBIFFE R. (1970)	Workers	511	20.54	167									

ANTHROPOMETRIC DATA OF MEDITERRANEAN COUNTRIES
AND SOME OF THEIR NEIGHBOURG

AUTHORS	POPULATION	N	AGE Y	HEIGHT cm	WEIGHT kg	BODY SURFACE m2	BODY FAT %	LEAN BODY WEIGHT kg	$\dot{V}O_2$MAX l/min	$\dot{V}O_2$MAX ml/kg/min	MAXIMAL HEART RATE b/min	DAILY ENERGY INTAKE MJ	from cart hydr %
6.2.5. SPAIN													
COMMALA-MALO (1965)	Female workers	430		157									
REBIFFE (1973)	Male workers	314	21.66	167									
6.2.6. TURKEY													
HERTZBERG et coll. (1963)	Turk soldiers	915	24	169	65								
6.3. IRAN													
NOORANI et coll. (1971)	Soldiers	9414	24	167	62								
SHAHNAWAZ et TUXWORTH (1977)	Steel workers	400	29	168	63				2,64 indirect measurement	43			
TUXWORTH et SHAHNAWAZ	Steel workers	45	31	167	63				2,65 direct measurement	42			
BRUN et coll. (1979)	iraniens farmers	45	38	164									
	spring				55								
	summer				58								
	autumn				59								
	winter				59								

INDIAN BIBLIOGRAPHY ON INDIAN ANTHROPOMETRY

BANDYOPADHYAY B., CHATTOPADHYAY H. (1981) Assessment of physical fitness of sedentary and physically active male college students by a modified HAVARD steptest. ERGONOMICS 24 1 15.20.

CHAKRABORTY M.K., SENSARMA S.K., MULLICK P.K. (1979) Permissible limits for different mining work under various postural conditions INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 54-64.

CHAKRABORTY M.K., SENSARMA S.K., DARKAR D.N. (1979) Average daily energy expenditure of coal miners in INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 130-137.

DAS S.K., CHATTERJEE S.P., CHATTERJEE P., MAITRA S.R., SINHA B.P. (1979) Physiological criterion to set the limit of continuous eight hours work every day in Industry INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGICAL 33 (1-4) 76.

DATTA S.R., CHATTERJEE B.B., ROY B.N. (1978) The energy cost of rickshaw pulling ERGONOMICS 21 11 879-886.

DATTA S.R., CHATTERJEE B.B., ROY B.N. (1979) Physiological responses during manual carrying of different loads on the head at different speeds INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 94-100.

DATTA S.R., CHATTERJEE B.B., ROY B.N. (1983) The energy cost of pulling handcarts (Thela) ERGONOMICS 26 5 461-464.

DATTA S.R., GANGULI S. (1979) An ergonomic approach to the design of indian handpulled carts (Thela) INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 102-106.

DUTTA S.P., NAIK N. (1979) An anthropometric study of indian workers in selected heavy engineering industries. I.E. Journal I.D.G.E. 59 1-7.

GHOSH A.K., GANGULI S., BOSE K.S. (1982) Metabolic energy demand and optimal walking speed in post-polio subjects with lower limb affictions APPLIED ERGONOMICS 13 4 259-262.

GHOSH A.K., TIREWALA D.N., DASGUPTA S.P., GOSWAMI A., GANGULI S. (1980) Metabolic cost of walking at different speeds with axillary crutches ERGONOMICS 23 6 571-577.

GOSWAMI A., GANGULI S., BOSE K.S., CHATTERJEE B.B. (1986) Anthropometric analysis of tricycle design APPLIED ERGONOMICS 17 1 25-29.

GOSWAMI A., GHOSH A.K., GANGULI S., DANERJEE A.K. (1984) Aerobic capacity of severely disabled indians ERGONOMICS 27 12 1267-1269.

GUHARAY A.R., RAY S.N., DUTTA P.K., GUPTA J.P., MITRA D.K., CHAKRABORTY M.K. (1979) Ergonomics and physiological studies on mine rescue workers INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 86-92.

MAITRA S.R. (1979) Physiological changes during graded work INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 7-10.

MAITRA S.R., BANERJEE P.K., CHATTERJEE P., CHATTERJEE B. (1979) Aerobic capacity of young girls 12 to 18 years of age INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 22 1-4 34.

NAG P.K. (1981) Predicting maximal oxygen uptake of workers engaged in agricultural tasks JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 10 25-33.

NAG P.K. (1982) Influence of posture and speed of arm and leg work on physiological responses JOURNAL OF SPORTS MEDICINE 22 426-431.

NAG P.K. (1984a) Circulo-respiratory responses to different muscular exercices EUROPEAN JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY 52 393-399.

NAG P.K. (1984b) Convective and evaporative heat transfer coefficients of persons in different activities JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 13 43-49.

NAG P.K., CHATTERJEE S.K. (1981) Voluntary muscular contraction with reference to agricultural tasks INDIAN JOURNAL OF MEDICAL RESEARCH 7 111-119.

NAG P.K., CHATTERJEE S.K. (1981) Physiological reactions of female workers in indian agricultural work HUMAN FACTORS 23 5 607-614.

NAG P.K., DUTT P. (1979) Effectiveness of some agricultural weeders with reference to physiological responses JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 8 13-21.

NAG P.K., PANIKAR J.T., MALVANKAR M.G., PRADHAN C.K., CHATTERJEE S.K. (1982) Performance evaluation of lower extremity disabled people with reference to handcranked tricycle propulsion ERGONOMICS 13 3 171-176.

NAG P.K., PRADHAM C.K., GOSWAMI A. (1985) Ergonomics in railway track maintenance work NATIONAL INSTITUTE OF OCCUPATIONAL HEALTH. AHMEDABAD - REPORT.

NAG P.K., SEBASTIAN N.C., MALVANKAR M.G. (1980a) Effective heat load on agricultural workers during summer reason INDIAN JOURNAL OF MEDICAL RESEARCH 72 408-415.

NAG P.K., SEBASTIAN N.C., MALVANKAR M.G. (1980b) Occupational workload of indian agricultural workers ERGONOMICS 23 2 91-102.

NAG P.K., SEBASTIAN N.L., RAMANATHAN N.C., CHATTERJEE S.K. (1978) Maximal oxygen uptake of indian agricultural workers with reference to age and sex JOURNAL OF MADURAI KAMARAJ UNIVERSITY 7 2 69-74.

NAG P.K., SEN R.N. (1979) Ergonomic cost of some heavy manual work in Bengal INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 4 122-127.

NAG P.K., SEN R.N. (1978a) Cardiorespiratory performance of porters carrying loads on a treadmill ERGONOMICS 22 8 897-907.

NAG P.K., SEN R.N., RAY U.S. (1978b) Optimal rate of work for mountaineers JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY 44 952-955.

OBEROI K., DHILLON M.K., MIGLIANI S.S. (1983) A study of energy expenditure during manual and machine washing of clothes in India ERGONOMICS 26 4 375-378.

PHEASANT S. (1986) Bodyspace TAYLOR and FRANCIS pub LONDON p. 119 Anthropometric estimates for indian adults after EVELETH and TANNER (1976) Worldwide variations in human growth.

RAMANATHAN N.L., NAG P.K. (1982) Energy costs of human labour in INDIA ASCI Journal of management 11 2 110-132.

SAHA P.N., DATTA S.R., BANERJEE P.K., NARAYANE G.G. (1979) An acceptable workload for indian workers ERGONOMICS 22 9 1059-1071.

SAMANTA A., CHATTERJEE B.B. (1981) A physiological study of manual lifting of loads in Indians ERGONOMICS 24 7 557-564.

SEN R.N. (1979) Ergonomics - Science and technology of man at work. Its role in our national development PROCEEDINGS OF THE 66TH INDIAN SCIENCE CONGRESS, 53-77.

SEN R.N. (1984) Application of ergonomics in industrially developing countries ERGONOMICS 27 10 1021-1032.

SEN R.N., GANGULI A.K., RAY G.G., DE A., CHAKRABARTI O. (1983) Tea leaf plucking-workloads and environmental studies ERGONOMICS 26 9 887-893.

SEN R.N., GOSHTHAKUR D. (1984) Ergonomic study of work-rest cycle, physiological responses and production rate of handloom weavers in West Bengal JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY 38 1-2 47-53.

SEN R.N., NAG P.K. (1975) Work organization of heavy loads handling in INDIAN JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 4 103-113.

SEN R.N., NAG P.K. (1978) Residual carry-over of acclimatization of sub-himalayan natives during graded work load at high altitude JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 7 55-63.

SEN R.N., NAG P.K. (1979) Optimal workload for indians performing different relative heavy manual work INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 18-25.

SEN R.N., NAG P.K., RAY G.G. (1977) Some anthropometry of people of Eastern India. JOURNAL OF THE INDIAN ANTHROPOLOGICAL SOCIETY 12 199-206.

SEN R.N., SARKAR D.N. (1979) Occupational daily work load for indian industrial workers at three different thermal conditions INDIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY 33 1-4 78-83.

SENGUPTA J., DIMRI J.P., MALHOTRA M.S. (1977) Metabolic responses of indians during submaximal and maximal work in dry and humid heat ERGONOMICS 20 1 33-40.

ERGONOMIC INDIAN BIBLIOGRAPHY

(WITHOUT ANTHROPOMETRY)

CHATTERJEE A., DAFTUAR C.N. (1966) Application of CORBUSIER's human scale to the layout of work space for typewriting JOURNAL OF ENGINEERING PSYCHOLOGY 5 2 54-62.

DAFTUAR C.N. (1966) A study of eye and hand-reach angle as a function of different body dimensions in type writing job JOURNAL OF THE INDIAN ACADEMY OF APPLIED PSYCHOLOGY 3 2 40-46.

DAFTUAR C.N. (1969) Optimizing system and machine design following human scale of proportion MANAS 16 1 1-11.

DAFTUAR C.N. (1971) Human factors research in India HUMAN FACTORS 13 4 345-353.

DAFTUAR C.N. (1971) Some psychophysical problems for building designers : a human engineering point of view INDIAN JOURNAL OF PSYCHOLOGY 46 2 163-171.

DAFTUAR C.N. (1975) The role of human factors engineering in underdeveloped countries with a special reference to India in CHAPANIS A. Ethnic variables in human factors engineering THE JOHN HOPKINS UNIVERSITY PRESS pub. BALTIMORE, p. 91-114.

DAFTUAR C.N. (1977a) Engineering psychology in cross cultural settings in POORTINGAY P. Basic problems in cross-cultural psychology SWETS et ZEITLINGER pub. AMSTERDAM.

DAFTUAR C.N. (1977b) Legibility of five digit arabic and devanagri numerals as a function of their sizes THE JOURNAL OF GENERAL PSYCHOLOGY 97 139-144.

DAFTUAR C.N. (1978-1979) Occupational choice of indian and thaï students BEHAVIOROMETRIC 8-9 122 22-27.

DAFTUAR C.N., SINI J.K. (1972) Sleep deprivation and human performance PSYCHOLOGIA 15 2 122-126.

DEVADAS R.P., EASWARAN P. (1972) Nutrient intake of selected vulnerable groups in COIMBATORE district in VORSTER D.J.M.. The human biology of environmental change I.B.P. pub. London, 60-62.

DUTTA S.P. (1976) A pilot study on traffic signs and signalling system in BOMBAY NATIONAL INSTITUTE FOR TRAINING AND INDUSTRIAL ENGINEERING, BOMBAY-REPORT.

JHA S.S., DAFTUAR C.N. (1981) Legibility of type faces JOURNAL OF PSYCHOLOGICAL RESEARCHES 25 2 108-110.

KHALEQUE A. (1984) Job satisfaction and work in industry ALAMGIR ART PRESS-DHAKA-BENGLADESH.

KHALEQUE A., RAHMAN A. (1982) Sleep disturbances and health complaints of shift workers in KOGI K., MIURA T., SAITO H. Shiftwork : its practice and improvement CENTER FOR ACADEMIC PUBLICATIONS JAPAN pub TOKYO p. 155-164.

KULKAPNI V.P., DUTTA S.P. (1980) Ergonomic norms in process design NATIONAL INSTITUTE FOR TRAINING AND INDUSTRIAL ENGINEERING BOMBAY-REPORT.

MAESHWARI S.R. (1985) Rural development in INDIA-SAGE NEW DELHI-LONDON.

MAITRA S.R., CHATTERJEE S., DAS S. (1968) Study on ionic concentrations during minimal, submaximal and maximal exercise INTERNATIONAL JOURNAL OF PHYSIOLOGY 22 12 1-3.

RAY G.G., SEN R.N., NAG P.K., DE A., BASU S. (1981) Relationship between segmental and whole body weights and volumes of Indians JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 10 35-48.

SHARMA V.M., SRIDHARAN K, PICHAN G., PANWAR M.R. ( ) Influence of heat stress induced dehydratation on mental functions ERGONOMICS 29 6 791-799.

SEN A. (1978) Followers' strategy for technological development THE DEVELOPING COUNTRIES p. 506-528.

SEN R.N. ( ) Application of ergonomics to the design of factory and equipment for tropical conditions I.L.O. REPORT.

SEN R.N. (1982) Physiological adaptation of people in tropical countries in some of their anthropometric dimensions in relation with thermoregulation in BASU A., MALHOTRA K.L. Human genetics and adaptation II INDIAN STATISTICAL INSTITUTE pub. 149-156.

SEN R.N., GANGULI A.K. (1982) An ergonomic analysis of railway driver functions in INDIA JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 11 187-202.

SEN R.N., GANGULI A.K. (1982) Preliminary investigations in to the locoman factor in the Indian railways APPLIED ERGONOMICS 13 2 107-117.

SEN R.N., GANGULI A.K., RAY G.G., DE A., CHAKRABARTI D. (1981) Ergonomic study of tealeaf plucking operations : criteria for selection and categorisation APPLIED ERGONOMICS 12 2 83-85.

SEN R.N., KAR M.R. (1978) Circadian rhythms in some groups of indians working in shifts JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 7 65-79.

SEN R.N., KAR M.R., ROY J.K., GANGULY A.K. (1982) Individual differences in adapting to shift work in KOGI K., MIURA T., SAITO M., Shiftwork; its practice and improvement CENTER FOR ACADEMIC PUBLICATIONS JAPAN pub. TOKYO p. 57-65.

SEN R.N., MAJUMDAR D. (1982) Ergonomics in relation to occupational safety and health in jute industry in Eastern India PROCEEDINGS OF THE 10TH ASIAN CONFERENCE ON OCCUPATIONAL HEALTH-SINGAPORE I - 289-298.

SEN R.N., NAG P.K. (1978) Residual carry over of acclimatization of sub himalayan natives during graded work load at high altitude JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY 7 55-63.

SEN R.N., RAY G.G., NAG P.K. (1976) Relationship between segmental and whole body weights of some indian subjects PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL COMMITTEE FOR PHYSICAL FITNESS RESEARCH 37 384-391.

YADAV B.G., GITE L.P. ( ) Ergonomics in agricultural engineering in India INTRODUCTION OF ERGONOMICS TO INDUSTRY 528-529.

LA NOUVELLE USINE EN PAYS EN DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

TRANSFERT OU NOUVELLE CONCEPTION

Ce texte est celui d'une conférence invitée prononcée au XXIII Congrès de la SELF (Liège, 1987) et publiée dans le Travail Humain, 1989, Vol. 52, N° 3, pp.232-246

INTRODUCTION : LE MODE DEGRADE DE FONCTIONNEMENT

Les difficultés majeures que rencontre le transfert de technologie vers les pays en développement industriel constituent maintenant une grande question de l'ergonomie. Les effets négatifs que l'on constate se situent à la fois dans le domaine de la santé et dans celui de l'économie.

La santé est atteinte de diverses façons (Wisner, 1976a, 1977)

- fréquence élevée des accidents du travail
- extension importante des maladies du travail
- apparition de troubles considérables liés aux maladies du développement industriel et urbain.

Le succès économique du transfert est menacé par plusieurs grandes causes techniques (Wisner, 1981, 1984a)

- faible taux d'engagement des machines, et de ce fait, volume insuffisant de production
- qualité médiocre des produits qui les rend inexportables, voire inutilisables dans le pays même
- détérioration rapide du matériel qui conduit à un fonctionnement en mode dégradé.

Il est bien évident que cette sinistre triade ne se rencontre pas partout : le Brésil est maintenant la 8e puissance industrielle du monde, et est un rival redouté en matière d'ingéniérie et de vente d'armes au Moyen Orient, l'Inde est la 10e puissance industrielle mondiale et va vendre de petites centrales nucléaires, l'Asie du Sud-Est fabrique le 1/3 des chaussures vendues en France. Mais on remarquera qu'il s'agit, dans ces cas, de N.P.I. (Nouveaux Pays Industriels). Les N.P.I. existent en nombre limité et les caractéristiques favorables que l'on vient d'évoquer sont loin d'être générales dans ces pays, comme le montre l'étude de J.Abrahao dans les distilleries brésiliennes (1986). En fait, dans chaque pays, par exemple en France (Negroni, 1986) et en Italie (Dell'Oro B., Pellegrini V., Roveda C., 1978), il existe des R.D.I. (Régions en Développement Industriel) qui posent des questions analogues à celles des P.V.D.I.

Les effets négatifs sur la santé et l'économie ont le plus souvent pour origine la situation de fonctionnement dite en mode dégradé. Dans cette situation, ce sont surtout les systèmes d'automatisme et de régulation qui sont altérés, voire hors circuits, les machines sont employées dans des conditions assez différentes de celles qui avaient été prévues par le constructeur, la maintenance est négligée, le personnel est souvent insuffisant en nombre, en qualification, en expérience.

Dès 1984, N. Sahbi montrait la grande dégradation du système de soutènement dans les mines de phosphates de Gafsa. Des milliers d'étançons hydrauliques hors d'usage jonchaient les environs de l'atelier de maintenance. N. Sahbi décrivait également les causes principales de cet état de fait :

- matériel inadapté aux mines de phosphate car destiné aux mines de charbon
- absence de communications entre services et à l'intérieur des services
- prédominance absolue des préoccupations relatives au volume de production par rapport au coût de la dégradation du matériel
- très faible développement de l'activité de maintenance et de réparation.

Il notait également la valeur, mais aussi l'insuffisance des stratégies employées par les travailleurs pour assurer la production au sein du mode dégradé.

Depuis 1984, des recherches ont été réalisées dans des entreprises diverses sur la genèse du mode dégradé (A. Kerbal, 1987), les stratégies des travailleurs pour assurer le fonctionnement médiocre ou nul des systèmes de contrôle et des automatismes (M. Sagar, 1987), l'importance des compétences ainsi développées par les opérateurs et leur méconnaissance fréquente par l'encadrement (A. Aw, 1987), la charge de travail accrue et plus ou moins bien acceptée (S. Khoulali, 1987).

Bien qu'aucune de ces recherches ne soit achevée, on peut déjà estimer que le mode dégradé permet souvent un volume acceptable de production, mais que l'opérateur ne peut suppléer les systèmes de mesure et les automatismes pour assurer un bon niveau stable de qualité. Il est bien évident que cette situation de dégradation existe aussi dans les pays industriels, mais l'extension du mode dégradé y est beaucoup plus faible du fait des contraintes sociales et économiques rigoureuses et des moyens plus aisés de prévention (V. De Keyser, 1987).

LES ORIGINES DU MODE DEGRADE DE FONCTIONNEMENT

Les dégradations possibles du fonctionnement d'un dispositif complexe sont en réalité multiples (Aw A., 1987). Les origines sont également nombreuses. Deux explications principales sont habituellement mises en avant pour expliquer le fonctionnement en mode dégradé des systèmes importés en P.V.D.I. : la médiocrité du personnel et la malhonneteté des transactions. Nous évoquerons en outre les difficultés multiples d'ordre géographique liées au transfert.

Problèmes de transfert liés à la géographie

On considérera plus particulièrement quatre facteurs géographiques : la mauvaise qualité des transports, l'implantation dans une région défavorisée, les effets du climat chaud, l'instabilité de la distribution d'électricité.

Mauvaise qualité des transports

Les études déjà réalisées sont très explicites sur beaucoup de points importants. Ainsi, J. Abrahao (1986) montre qu'une distillerie installée dans la région industrielle de Ribeiro Preto (Etat de Sao Paulo au Brésil) au voisinage de l'usine fabriquant le matériel de la distillation pour une partie importante des distilleries brésiliennes, dispose des pièces détachées nécessaires en cas de panne de façon quasi immédiate. Au contraire, une distillerie installée loin de l'usine, dans l'Etat de Goïas, et reliée à elle par de mauvaises routes, ne dispose des pièces détachées nécessaires en cas de panne ou de mauvais fonctionnement que dans un délai de plusieurs jours et à un prix élevé du fait de la détérioration des camions sur la route.

Cette diversité d'approvisionnement détermine des stratégies de distillation différentes. Certaines manoeuvres très efficaces pour réduire les incidents de distillation risques de détériorer des pièces peu coûteuses à Ribeiro Preto et chères dans le Goïas. Ces manoeuvres sont, de ce fait, courantes dans le premier cas, et interdites dans le second.

Implantation dans une région défavorisée

Il n'est pas toujours possible de choisir l'implantation. N. Sahbi (1984) a étudié les mines de phosphates tunisiennes de Gafsa situées en réalité à Metlaoui à 35 km de Gafsa, dans une région désertique et polluée par la mine. L'eau, très rare, est utilisée en priorité pour la production. Il n'y a, de ce fait, ni jardins, ni piscines, ni même d'eau courante pendant une partie de la journée.

Si les mineurs originaires de la région restent fidèles à la mine, seul employeur, les techniciens et surtout les cadres et leurs familles supportent mal cette situation pénible, d'autant plus que l'essentiel de la Tunisie industrielle est située dans les régions côtières, si agréables qu'elles sont devenues de célèbres lieux touristiques. La durée moyenne de travail des cadres supérieurs à Gafsa-Metlaoui se situe entre 1 et 2 ans. Il en est de même dans la papeterie qu'étudie M. Sagar à Kasserine, agglomération austère située dans le désert, mais aussi au milieu des champs d'alfa dont la production alimente l'usine.

L'origine de l'instabilité des cadres supérieurs ne se situe pas exclusivement dans le caractère déplaisant du lieu de séjour, puisqu'on trouve des faits analogues dans la papeterie qu'étudie A. Kerbal près d'Alger ou à la compagnie de traitement des phosphates dont les usines se situent au voisinage de Dakar.

Peut-être pourrait-on, d'ailleurs, évoquer plutôt l'insatisfaction générale dans ces 4 entreprises à propos des dysfonctionnements de la production qui s'accompagnent de décisions brutales des directions générales situées souvent assez loin du lieu de production. L'ensemble de ces comportements s'explique principalement par la méconnaissance des graves difficultés que rencontrent cadres et ouvriers pour faire fonctionner un dispositif qui ne convient pas bien au lieu d'implantation. Ces difficultés font précisément l'objet de l'analyse anthropotechnologique. La description du réel devrait permettre de trouver des solutions techniques et sociales, et en particulier, de réduire la rotation des cadres supérieurs.

Les effets du climat chaud

Il est bien évident que les travailleurs sont également atteints par les effets défavorables de mauvaises implantations, mais ces effets sont à la fois plus évidents pour les ergonomistes, et plus souvent décrits. On peut toutefois donner comme exemple celui des décaisseurs et encaisseurs de bouteilles de bière dans la brasserie de Bangui décrite par K. Meckassoua (1985).

Pour des raisons tout à fait légitimes d'emploi et de simplification technologique, les systèmes automatiques utilisés en Europe pour la manutention des bouteilles ont été remplacés par des ouvriers. Mais on n'a pas été jusqu'à donner à ces hommes l'espace nécessaire pour travailler, ce qui bloque parfois la chaîne de production et rend plus difficile le travail du soutireur. Par ailleurs, ces hommes arrivent fatigués à l'usine, car ils ont dû parcourir à pied une distance d'environ 5 km dans la chaleur de la nuit équatoriale. Ils ont également mal dormi du fait de leur type de logement et de la vie nocturne en climat chaud.

Si le village des travailleurs et l'usine étaient voisins, et la qualité du logement meilleure, on obtiendrait plus aisément une bonne qualité de l'inspection des

impuretés dans les bouteilles. En effet, ce travail est confié aux mêmes ouvriers manutentionnaires afin d'alterner un travail physique pénible et un travail assis. Malheureusement, la fatigue et le manque de sommeil ne leur permettent pas de maintenir leur attention de façon acceptable.

L'instabilité de la distribution d'électricité

Il est également important d'insister sur les difficultés liées à la faiblesse de l'infrastructure du pays. On a déjà évoqué la mauvaise qualité des routes, l'insuffisance et la mauvaise qualité des ressources en eau, l'absence et la mauvaise qualité des logements et des transports en commun. On pourrait décrire les effets de la saturation des ports, de l'irrégularité des voies navigables. On insistera ici seulement sur un point essentiel : l'instabilité de l'alimentation électrique.

Les investissements nécessaires pour la production électrique sont considérables comme en témoignent les controverses sur les dettes d'E.D.F. pour financer les centrales nucléaires françaises. En outre, les variations considérables du prix de l'énergie, et en particulier du pétrole, rendent difficiles et empêchent parfois les achats nécessaires de combustibles. Dans beaucoup de P.V.D.I., il y a, de ce fait, une production d'électricité insuffisante qui provoque trop souvent des délestages de courant électrique dans les entreprises : arrêts brutaux qui se produisent parfois plusieurs fois par semaine ou baisses plus ou moins fortes de la tension du courant.

L'arrêt brutal de l'alimentation électrique peut avoir un effet dramatique. Dans le port de Dakar, il existe un grand portique dont la charge, qui peut être considérable, se déplace sur un rail. Si l'arrêt instantané de l'alimentation électrique se produit quand la charge se déplace du bateau vers le quai et se trouve au dernier tiers de sa course, l'inertie provoquera l'écrasement de la cabine du conducteur par la charge. Le conducteur le sait et confie son anxiété (A. Aw, 1987).

En dehors du grave aspect de la sécurité, l'arrêt et les variations de tension provoquent le dérèglement des automatismes de façon plus ou moins nette, de telle sorte que les manoeuvres de remise en marche normale ne sont pas toujours réalisées.

Là encore, l'ergonomiste habitué à se limiter ici à la conception du dispositif technique selon le concept du système homme-machine, se trouve dérouté car les pièces détachées ne sont pas disponibles, les cadres ne sont pas compétents, les ouvriers sont peu efficaces, le danger menace pour des raisons situées bien loin du poste de travail et même de l'entreprise. Ce qui est en cause, c'est la relation plus large entre la conception du dispositif technique et les problèmes nouveaux posés par l'implantation de l'installation dans des conditions très éloignées de celles que le concepteur avait en tête quand il dessinait le dispositif technique. En effet, de façon plus ou moins explicite, le concepteur se réfère à des conditions historiques et géographiques qui sont les siennes, à moins que son attention n'ait été fortement attirée vers les caractéristiques différentes de la future implantation.

On pourrait multiplier les exemples qui montrent l'importance des facteurs géographiques à considérer à l'occasion du transfert de technologie : géographie physique (séismes, typhons, variations climatiques, régime des eaux), géographie de l'énergie et des transports, géographie de la santé (endémies), géographie industrielle. Le dernier point est naturellement essentiel. La notion de tissu industriel (Boucher, 1983) mérite d'être approfondie de telle sorte qu'avant l'installation d'une entreprise, il soit possible d'avoir une évaluation des forces et des faiblesses de la région et du lieu, de prévoir les renforcements nécessaires - mais coûteux -, de faire des choix technologiques compatibles avec les réalités locales.

Les qualités cognitives du personnel de production

La médiocrité du personnel s'est révélée une mauvaise explication. La preuve la plus éclatante de la capacité industrielle universelle des populations du monde est peut-être donnée par les "îles anthropotechnologiques" (Wisner, 1977) : usines, aéroports, banques ou hôtels qui fonctionnent partout grâce à un personnel autochtone avec un résultat remarquablement uniforme dans

tous les pays. Toutefois, il s'agit le plus souvent du résultat d'une politique délibérée et assez coûteuse des firmes multinationales. Cette politique ne se justifie économiquement que dans des cas précis, en nombre limité. Par ailleurs, ces entreprises qui fonctionnent selon une organisation totalement étrangère au pays, contribuent peu ou pas au développement industriel général.

Neri Dos Santos (1985) donne une démonstration très frappante de la fidélité de la reproduction du comportement qui peut être obtenue lors du transfert. En situation normale de travail des opérateurs de salle de contrôle de métro, ce qui différencie les séries de mouvements des yeux (changements de direction du regard), ce n'est pas le lieu de travail, Paris ou Rio-de-Janeiro, mais l'expérience antérieure de l'opérateur comme conducteur de rame de métro. N. Dos Santos signale, par ailleurs, que les différences de comportement entre Paris et Rio deviennent importantes en cas d'incidents, du fait de la mauvaise qualité du transfert d'organisation, comme on le verra plus loin.

La question centrale, celle des capacités cognitives des divers peuples, a été traitée de façon approfondie par K. Meckassoua (1985). Il montre, en particulier, les capacités tout à fait remarquables de régulation de l'opérateur central d'une brasserie à Bangui. Cet opérateur analphabète, élevé dans un village où l'on pratique la culture sur brûlis, la poterie, la chasse et la pêche, est capable de construire une représentation opératoire plus vaste et plus complexe que l'opérateur correspondant en France. L'étendue et la complexité de la représentation sont nécessaires à Bangui du fait de plusieurs imperfections du dispositif technique : bouteilles de dimensions inégales importées d'un pays voisin, qualité de colle des étiquettes ne correspondant pas à la température ambiante, encaissage et décaissage manuels réalisés dans de mauvaises conditions, contrôle visuel imparfait des impuretés. Cette étude souligne le fait qu'il faut <u>plus</u> de capacités cognitives pour faire fonctionner correctement un dispositif rendu imparfait par les conditions de transfert.

On peut encore citer les travaux de Feuerstein (1980) qui réussit en 2 ans à transformer les émigrés misérables venant du désert en conducteurs et réparateurs de tracteurs efficaces. Comme l'écrit cet auteur : "Mis à part leurs contenus spécifiques, les cultures différentes fournissent toutes une structure [mentale] à l'intérieur de laquelle le contact direct et l'expérience des objets et des événements peuvent être organisés, interprétés et

Pour se faire une opinion sur la valeur de la méthode des tests, on peut lire par exemple le bilan intéressant de Lehlin, Lindzey et Spuhler dans leur livre "Race différence in Intelligence" (1975). En fait, les études de ce type portent souvent sur les populations noires et blanches des Etats-Unis où se combinent l'existence de cultures différentes, et du côté de beaucoup de Noirs la présence d'une déprivation culturelle. Cette expression de Feurstein désigne le résultat d'une relation insuffisante de l'individu à la culture de son propre groupe ethnique du fait de la maladie, de la misère et de l'isolement.

Ainsi, il ne nous semble pas que les capacités cognitives diffèrent sensiblement d'un peuple à l'autre. Il n'en est pas de même naturellement en ce qui concerne les compétences. Le grand effort réalisé depuis 40 ans pour améliorer la qualité du transfert de technologie se situe d'ailleurs dans le domaine de la formation (par exemple : Maguerez, 1966). On verra plus loin ce que l'analyse ergonomique du travail peut apporter dans ce domaine.

Malhonnêteté des transactions ou malentendus culturels ?

La malhonnêteté des transactions paraît évidente à certains analystes de la situation du "Tiers Monde". Sans nier une volonté délibérée de tromper qu'il peut être utile de dénoncer, nous voudrions insister sur les représentations erronées des possibilités du transfert de technologie. Les erreurs se trouvent chez le vendeur comme chez l'acheteur en fonction de leurs appartenances culturelles. C'est pourquoi on peut parler d'anthropotechnologie pour le domaine qui nous occupe.

C'est ainsi que, dans une papeterie française, le dispositif automatique qui est employé est surveillé par une équipe de 4 ouvriers bien formés par l'école et l'expérience (Sagar, 1987). Ils peuvent consulter la maîtrise ou les ingénieurs qui eux aussi sont stables et compétents. Dans la papeterie de Kasserine, il y a 2 fois moins d'ouvriers, alors qu'ils ont la lourde tâche de suppléer les automatismes défaillants par des communications non verbales, et que leur encadrement souffre d'une importante rotation qui ne leur permet pas d'acquérir les compétences nécessaires. Peut-être, dans cette usine, n'a-t-on pas compris l'importance de l'activité cognitive des ouvriers et a-t-on jugé que leur activité physique ne justifiait pas un effectif plus élevé. Quoi qu'il en soit, dans ce cas, les effectifs

prévus dans l'organisation transférée ont été réduits en Tunisie de façon dangereuse, ce qui est probablement à l'origine de certains défauts de fonctionnement du dispositif transféré.

Dans d'autres cas, il n'y a pas eu transfert d'une partie importante du dispositif; il s'agit le plus souvent de la maintenance et de la réparation. Si, par exemple, les documents de fonctionnement du métro de Paris ont été traduits et transférés au métro de Rio-de-Janeiro, il n'en est pas de même pour la maintenance et la réparation. Il semble que ces dernières n'aient en aucune façon fait l'objet d'un marché. Il est vrai que dans ce domaine, le vendeur ne dispose pas toujours de savoirs organisés et codifiés et l'acheteur n'est pas toujours convaincu de la nécessité de suivre des recommandations dont le coût peut lui paraître démesuré. Malheureusement, la dégradation des dispositifs complexes est le prix de la négligence d'une partie si importante de l'exploitation.

Toutefois, l'analyse ergonomique des cas où l'usine ne marche que le jour de son inauguration dans les conditions du test-run permet d'éclairer certains aspects déloyaux du transfert. Dans la plupart des cas où une usine ou un système de production sont livrés "clés en mains", il est, en effet, prévu par contrat que ce dernier ne sera considéré comme exécuté qu'après la démonstration de la capacité de fonctionnement du dispositif : c'est le test-run.

Une équipe du pays vendeur est déplacée dans le pays acheteur pour l'inauguration. Elle comprend du personnel expérimenté aussi bien pour le fonctionnement que pour la maintenance du dispositif ainsi qu'éventuellement les membres du bureau d'études qui ont eu l'occasion de faire quelques modifications du dispositif initial. Cette équipe d'une qualité exceptionnelle, est en état de faire marcher le dispositif, mais le lendemain de son départ rien ne va plus, car le personnel local qui la remplace est loin d'avoir les mêmes savoirs théoriques et pratiques, même si elle a bénéficié d'une formation sérieuse, ce qui n'est pas toujours le cas. Pour le vendeur, le contrat est rempli, pour l'acheteur il ne l'est pas. L'origine de ce grave malentendu est liée à la sous-estimation des activités cognitives de contrôle et de maintenance du dispositif, des compétences des opérateurs, mais aussi à la prise de conscience insuffisante des difficultés de fonctionnement liées à l'implantation que l'on a considérées plus haut.

Ces faits expliquent pourquoi il est nécessaire de reconcevoir les dispositifs plutôt que de les transférer dans les pays en développement industriel.

UNE METHODE DE RECONCEPTION

L'erreur commune des deux parties est de méconnaître à quel point le dispositif technique, l'organisation du travail, les programmes de formation sont marqués par la représentation qu'ont les concepteurs initiaux de la situation générale de la future usine et des caractéristiques des travailleurs. Cette représentation implicite se révèle souvent très différente de la réalité quand concepteurs et utilisateurs sont du même pays, voire de la même entreprise.

Daniellou (1986) consacre à juste titre, le tiers de son nouveau cours d'ergonomie de la productique à l'analyse préalable de la situation. Dans le cas du transfert de technologie, cette analyse est encore plus nécessaire et demande à être approfondie. Elle doit servir de base à la réflexion des deux parties, vendeur et acheteur, ce qui, actuellement, est bien rarement le cas.

L'étude des "îles anthropotechnologiques" montre qu'il est possible de créer, à grands frais, dans un pays très différent du pays concepteur, un système qui fonctionnera comme dans le pays d'origine. La plupart du temps, les investissements massifs et les frais de fonctionnement élevés nécessaires à la construction de l'isolat sont impossibles pour des raisons financières. Ils ne sont souvent même pas envisagés par ignorance ou mépris des difficultés locales. Certains considèrent d'ailleurs que ces difficultés, que l'on étudiera plus loin, sont rédhibitoires et condamnent l'industrialisation, donc le développement économique nécessaire. Or, partout dans le monde, les nations veulent réaliser cette industrialisation en obtenant un bon fonctionnement du dispositif acheté et en faisant des bénéfices pour investir à nouveau.

L'idéal serait naturellement de suivre depuis le début un processus complet de conception comme celui que décrit Daniellou. En fait, les prix de conception et de fabrication du matériel rendent impossible un tel procédé. Cela est d'ailleurs vrai dans les pays industrialisés où l'on cherche à utiliser au maximum les éléments anciens dans le dispositif nouveau. C'est la raison pour laquelle on ne peut qu'admettre le transfert de matériel

à condition, toutefois, qu'il se situe dans un processus de reconception. C'est "L'ergonomie dans l'ingéniérie d'une usine à l'exportation" (Wisner, 1976b) dont la principale difficulté réside dans le transfert d'Organisation (Wisner, 1984b, 1985a).

Parmi les étapes du processus de reconception de l'usine à l'exportation, on peut distinguer l'analyse approfondie de la situation du pays acheteur, des caractéristiques de l'entreprise importatrice et de l'implantation envisagée, l'étude de situations analogues existantes, la reconstitution prévisionnelle des activités futures probables, les conséquences de ces étapes préalables sur le choix de la technologie et les propositions de modifications, la conception des bâtiments, des adductions de fluides et des réseaux de transports, l'organisation du travail, les programmes de formation, les modalités contractuelles du contrôle final de livraison. Chacun de ces thèmes est très important et mériterait des développements qui n'ont pas leur place ici.

Les importantes questions relatives au choix des technologies, et en particulier au degré de complexité des contrôles et des automatismes, soulèvent un problème difficile où l'analyse objective est rejointe par des considérations politiques, voire idéologiques aussi bien que commerciales et financières. Cette conjonction n'est pas aisée à analyser mais mérite de l'être. Mais de toutes façon, à l'occasion de la reconception du dispositif technique que nous suggérons plutôt qu'un simple transfert, les moyens financiers sont le plus souvent limités, non seulement pour faire construire des dispositifs techniques originaux, mais aussi pour faire les études nécessaires pour en changer profondément l'agencement. Tout au plus pourra-t-on parfois tenir compte des différences physiques des populations de travailleurs (dimensions corporelles, capacité cardio-respiratoire, force musculaire, Wisner, 1987).

On se bornera ici à évoquer quelques aspects de l'analyse du travail, de la formation et de l'organisation du travail.

L'analyse du travail et l'extension de l'ergonomie

Pour revenir à l'action proprement dite de l'ergonomiste, de l'anthropotechnologue, il est nécessaire de préciser les objets sur lesquels une action est possible.

A cet effet, il est intéressant d'adopter le point de vue récemment développé par Pavard (1985) et par Pinsky et Theureau (1988).

Selon Pavard, la question essentielle pour l'ergonomiste est celle de la définition des contraintes pragtiques. Comment concevoir le dispositif technique comme l'organisation du travail pour que la représentation de l'activité à accomplir soit assez claire pour permettre des stratégies efficaces à un coût raisonnable pour l'opérateur. Pour Pinsky et Theureau, l'insistance sur l'activité de l'opérateur est encore plus grande puisque c'est le cours d'action qui doit être seul considéré. Ce cours d'action qui comporte aussi bien l'action sur les commandes que les prises d'information et les communications, doit considérer de façon exhaustive la totalité des activités de travail. Ainsi, la multiplicité des activités liées à la prévention et à la correction des incidents, à la suppléance des contrôles techniques défaillants, à la recherche d'informations ou d'événements dont il n'a pas eu connaissance, constituent le travail de l'opérateur tout autant que l'activité formellement décrite et considérée comme essentielle.

Une telle conception de l'ergonomie, et plus particulièrement de l'analyse du travail, est précieuse quand on étudie des systèmes fonctionnant en <u>mode dégradé</u> ce qui est très fréquent dans les entreprises de PVDI comme on l'a vu plus haut. C'est la raison pour laquelle la reconstitution prévisionnelle des activités futures probables (Daniellou, 1986) doit considérer aussi bien l'analyse du travail sur le dispositif à transférer fonctionnant dans le pays vendeur et l'analyse du travail d'un système analogue fonctionnant dans le pays acheteur (Wisner, 1976b).

Formation

Il y a longtemps que les programmes de formation sont adjoints au transfert de technologie. Si certains d'entre eux ont réussi, beaucoup ont échoué et leurs auteurs ont parfois mis en cause les capacités d'apprentissage des futurs opérateurs qui leur étaient confiés. On a vu plus haut que ces capacités ne peuvent être sérieusement contestées. Par contre, un programme de formation ne peut aboutir sans une bonne connaissance des outils cognitifs produits par les opérateurs dans leurs activités antérieures, dans leur propre culture initiale ou dans des activités de type industriel. Il n'y a pas de "tabula rasa" opératoire dans l'esprit d'un adulte. Il

faut donc connaître le point de départ mais aussi le point d'arrivée, les compétences à acquérir. Or, ces dernières font souvent l'objet d'une description erronée issue d'une représentation arbitraire des activités.

Comme on vient de le voir, seule l'analyse ergonomique du travail dans une entreprise du pays vendeur utilisant la technologie transférée et dans une entreprise du pays acheteur utilisant une technologie voisine, une analyse du travail dans le cadre de reconstitutions prévisionnelles de l'activité future probable, peuvent permettre de cerner les compétences nécessaires.

Toutefois, une grande question reste ouverte en ce qui concerne les activités elles-mêmes : jusqu'où doit-on pousser le réalisme dans la préparation à la gestion des difficultés et des incidents liés à la dégradation probable du dispositif, du fait de la situation locale (pannes d'électricité, manque de pièces détachées, matières premières de mauvaise qualité). Si l'on considère le mode dégradé comme accidentel, on va continuer à former les opérateurs au contrôle d'un système fictif : un travail d'adaptation difficile, long et dangereux devra être accompli presque clandestinement par les opérateurs débutants (Aw, 1987). Si, au contraire, on considère le mode dégradé comme inéluctable, on doit construire le programme de formation en relation avec cette situation. Il s'agit là d'une démonstration brutale des erreurs faites au moment des choix de technologie. Ce démenti peut ne pas être toléré par ceux qui ont fait les choix.

Parfois, au contraire, à l'occasion d'un changement, il est possible d'analyser les causes de la dégradation, de renoncer à certains automatismes, de restituer à d'autres leur plein fonctionnement et de construire un programme de formation réaliste par rapport à la nouvelle situation.

En fait, il s'agit d'une approche bien abstraite; les types de dégradation sont divers et variables quoique certains soient plus fréquents et plus stables que d'autres. La solution de ces contradictions se situe probablement dans l'attribution d'une place importante au traitement des situations de défaillance partielle de divers éléments du système à côté d'une formation à la situation non dégradée.

Il nous semble également que les méthodes pédagogiques destinées à faire passer les opérateurs de leurs savoirs initiaux aux compétences nécessaires souffrent encore actuellement d'un empirisme excessif. Un important

travail théorique reste à faire dans le domaine de la transformation cognitive chez l'adulte. Par exemple, Feuerstein estime que le rôle de l'enseignant est essentiel pour faire dépasser au stagiaire le stade manipulatoire des objets et obtenir des manipulations imaginaire Il insiste sur l'importance du développement du vocabulaire technique : il faut nommer correctement les outils, les pièces et les opérations. A l'opposé, Sinaïko (1979) montre que, dans certaines cultures, le fait de connaître le vocabulaire, le nom des objets et des opérations paraît suffisant aux stagiaires qui négligent la réalisation et le travail effectif.

Il existe toutefois un domaine où les constatations empiriques et les explications théoriques sont très cohérentes, c'est celui des difficultés linguistiques. Sinaïko (1975) montre que l'on peut obtenir partout dans le monde d'excellentes performances sur des dispositifs de haute complexité si l'enseignement oral et la documentation technique sont pleinement compris des opérateurs. Mais cette condition évidente est d'un coût très élevé : au moins un an d'apprentissage de la langue du vendeur ou traduction de très haute qualité. Les traductions de qualité médiocre, les enseignements linguistiques insuffisants laissent subsister des confusions ou des erreurs qui peuvent être redoutables dans la conduite ou la maintenance des dispositifs techniques. Le remplacement du texte par des images n'est pas toujours meilleur car le passage d'une représentation de trois à deux dimensions se fait selon des modalités différentes d'une culture à l'autre.

Une attention particulière devrait être accordée à la formation des cadres supérieurs dont on a vu plus haut la rotation très rapide et ses causes multiples. Beaucoup de ces cadres supérieurs sont des ingénieurs et des spécialistes d'excellent niveau international, formés dans les meilleures écoles étrangères ou nationales, mais auxquels on n'a jamais donné l'occasion de réfléchir et d'acquérir des pratiques pertinentes à la situation locale. Les seuls documents de formation dont ils disposent sont fournis par l'entreprise étrangère qui a vendu le dispositif technique. Ces documents sont le plus souvent inadaptés, car ils sont relatifs à un fonctionnement théorique déjà éloigné du réel dans le pays vendeur.

Le plus grave est que cette formation théorique, comme la formation pratique acquise dans leurs fonctions sont très volatiles, compte tenu de la rotation rapide des cadres. L'expression de formation permanente prend alors tout son sens. Comment conserver la documentation technique essentielle souvent considérée comme propriété personnelle par le cadre qui s'en va ? Comment fixer le

contenu de l'expérience sur le terrain ? Comment transmettre ces savoirs aux vagues successives de cadres supérieurs qui viennent remplacer ceux qui s'en vont ?

On pourrait s'étonner de voir un ergonomiste insister sur le rôle et la formation des cadres supérieurs, alors que notre analyse porte plus volontiers sur les activités des opérateurs. Le phénomène de la rotation des cadres supérieurs dans beaucoup d'entreprises des P.V.D.I. fait partie des difficultés principales que rencontre l'industrialisation de ces pays. Ce phénomène n'est d'ailleurs pas absent dans certaines entreprises des pays industrialisés et appelle, là aussi, des politiques de prévention et de traitement de cette véritable maladie de l'entreprise.

Reconception de l'organisation du travail. La théorie de la contingence

La reconception de la technologie qui accompagne le transfert matériel a progressé récemment dans deux domaines essentiels : l'un est celui de la réfection-transformation du matériel (Lund, 1986) qui se rapproche de l'ergonomie de l'aménagement et que nous n'étudierons pas ici, l'autre est celui de l'organisation du travail du fait de travaux sur le terrain, mais aussi grâce à l'adoption par l'anthropotechnologie d'une théorie de l'organisation très proche de ses conceptions et de ses besoins. Robbins fait en 1983 un excellent exposé de la théorie de la contingence. Ce type de conception est aussi exposé de façon claire par Hendrick (1987a et b).

D'autres auteurs ont montré que les effets négatifs du travail répétitif étaient aussi redoutables dans un P.V.D.I. que dans les pays industrialisés.
Par exemple, Aktouf (1986a et b) compare le département d'encaissage de deux brasseries au Canada et en Algérie et constate dans les deux cas la même souffrance des travailleurs. Cette souffrance est décrite aussi par Meckassoua chez les encaisseurs de la brasserie de Bangui en même temps qu'il montre les hautes qualités cognitives du soutireur. Ces qualités cognitives, écrasées par l'organisation dite taylorienne, peuvent s'épanouir et donner les mêmes excellents résultats en P.V.D.I. qu'ici si l'on utilise les ressources de la sociotechnique (Corlett, 1980; De (1984), Khaleque (1984). Cependant, la sociotechnique elle-même doit être utilisée de façon précise s'il faut maintenir et améliorer la fiabilité (Quintanilla, 1987).

Toutefois, on sait bien que, d'une part, ces discussions portent surtout sur la production de masse et que, d'autre part, les diverses solutions organisationnelles ne sont bonnes qu'en fonction des situations concrètes : c'est la base même de la théorie de la contingence.

J. Woodward (1965) a montré la première que la même organisation ne convenait pas de la même façon à trois types de technologie industrielle : à la pièce, en série, en processus continu. Les trois dimensions principales de la structure d'organisation sont la complexité, la formalisation et la centralisation. Pour J. Woodward, la production à la pièce appelle un niveau faible de complexité, de formalisation et de centralisation : c'est l'atelier artisanal. Ce modèle fonctionne très bien dans le secteur de la maintenance et de l'entretien, aussi bien ici que dans certaines entreprises de P.V.D.I.. La production en série comporte au contraire un fort appel à la complexité, à la formalisation et à la centralisation de l'organisation : c'est la formule taylorienne qui est ébranlée par son caractère insupportable pour les travailleurs, sa rigidité économique et technique. La plupart des débats dé sociologie du travail ont porté sur ce mode de production depuis 20 ans. Les industries de processus continu demandent au contraire un bas niveau de complexité, formalisation et de centralisation. On peut observer, par exemple, que dans le cas des disdistilleries brésiliennes de J. Abrahao (1985), l'entreprise qui marche mal a une organisation formalisée et centralisée alors que c'est le contraire dans l'entreprise qui marche bien.

Dans la même direction que Woodward, Perrow (1967), élargissant son champ d'observation aux activités tertiaires, propose d'autres critères de classement des technologies :

- la variabilité des tâches mesurée par le nombre d'exceptions au fonctionnement habituel

- l'analysabilité des tâches selon que les exceptions peuvent être diagnostiquées par une logique formelle ou par l'expérience.

Cette classification de Perrow nous paraît être la démonstration du caractère nécessaire du changement d'organisation, quand le système fonctionne en mode dégradé dans un P.V.D.I.. Dans ce dernier cas, l'exception devient la règle et la difficulté des questions posées ne peut que faire appel à l'expérience. Malheureusement,

dans les périodes les plus difficiles de la vie d'une entreprise, on a souvent tendance à favoriser le départ des opérateurs les plus compétents. C'est l'une des causes moyennes de la catastrophe de Bhopal. C'est aussi la solution adoptée devant les difficultés de fonctionnement d'ateliers chimiques en Algérie et au Sénégal avec des résultats désastreux.

Si l'influence de la technologie sur l'organisation est essentielle, le rôle de l'environnement n'est pas moins considérable. Si l'on entend par environnement les forces et les institutions qui peuvent agir sur l'organisation et sur lesquelles l'organisation a peu d'influence, on comprendra plus aisément pourquoi une organisation conçue dans un pays où le marché est large et stable, où la politique industrielle du gouvernement est cohérente et où les rapports sociaux ne subissent que des évolutions progressives, ne saurait être transférée dans la situation profondément différente qui prévaut souvent en P.V.D.I.

Pour Burns et Stalker (1961), les structures rigides (mécaniques) conviennent aux situations stables par leur haut degré de complexité, de formalisation et de centralisation. Si l'on passe à un environnement instable, les structures souples (organiques) conviennent mieux. Dans ce dernier cas, ce sont les communications horizontales qui conviennent. Le rôle de l'expérience et du savoir est plus important alors que l'autorité hiérarchique. On échange plus d'informations que de directives. On définit plus les responsabilités que les tâches.

Peut-être ces considérations permettent-elles de comprendre pourquoi l'organisation du travail du métro de Paris, remarquablement transférée au métro de Rio, n'a pas permis de maintenir longtemps à Rio la rotation rapide des trains car, si les opérateurs étaient de qualité comparable, il n'en était pas de même, sous beaucoup d'aspects, pour l'environnement de l'entreprise. Dans le même ordre d'idée, M. Vidal (1985) montre que le même type de construction n'est pas réalisé avec le même succès dans certaines villes du Brésil qu'en France, parce que, par exemple, les fournisseurs de ciment avancent parfois les livraisons de ciment à leur convenance sans se préoccuper des capacités de stockage à l'abri de l'eau que l'on peut trouver sur le chantier.

Pour Lawrence et Lorch (1967), les variations de l'environnement, mais plus encore leur caractère inat-

tendu constituent un élément critique. Ces auteurs classent les environnements d'entreprise en fonction

- de la fréquence de leurs changements
- de la clarté de l'information sur ces changements
- de la rapidité du retour d'information sur la réponse aux changements

Ils soulignent également que chaque activité de l'entreprise a un environnement différent : par exemple, l'environnement du service commercial est le marché, celui de la production est l'évolution technico-économique et celui du service de recherches et développement est la conjoncture scientifique. On peut trouver de très nombreux exemples d'entreprises de P.V.D.I. où les difficultés viennent de confusions entre les deux plans. A quoi servent, par exemple, les gigantesques portiques des ports de Dakar et Casablanca ? Certes, ils correspondent admirablement à la conjoncture scientifique et technique. Mais, sur le plan économique et commercial, leurs capacités sont évidemment excessives.

Beaucoup d'automatismes sont satisfaisants scientifiquement et permettraient d'obtenir un succès commercial lié à la qualité, s'ils n'étaient inadaptés sur le plan technico-économique ?

Si nous avons quelque peu détaillé les effets de la <u>technologie</u> et de <u>l'environnement</u> comme déterminants de l'organisation, il ne faut pas, pour autant, minimiser le rôle de deux autres facteurs assez évidents : la <u>taille</u> de l'entreprise et sa <u>stratégie</u>.

Dans beaucoup de P.V.D.I., et plus particulièrement dans ceux qui ont adopté une politique de planification déterminée, la création d'une entreprise correspond souvent plus à des considérations stratégiques qu'économiques. Il s'agit d'accroître le niveau technique du pays en formant des nationaux à des activités nouvelles, de constituer un centre moderne dans une région arriérée, de créer une industrie nationale dans l'acier ou le ciment, même si la surproduction mondiale menace. Dans ces conditions, la contrainte économique qui est habituellement déterminante pour modeler l'organisation devient faible ou absente.

Toutefois, les conditions actuelles de la dette des P.V.D.I. voient d'autres stratégies, plus liées à l'économie, se substituer aux précédentes et agir sur l'organisation de façon parfois dangereuse. C'est ainsi que l'achat de fournitures, de pièces détachées, de documentation, les services d'experts peuvent subitement cesser au risque d'une accentuation de la dégradation du système technique.

La taille, la stratégie, la technologie et l'environnement apparaissent ainsi comme les déterminants de l'organisation. Pourtant, un cinquième élément vient perturber ces constructions logiques, c'est la lutte pour le pouvoir ou une partie du pouvoir.

On peut aussi, comme le fait Chila (1972) ne voir qu'un seul facteur dans la combinaison de la stratégie et du pouvoir; l'existence de la lutte pour le pouvoir au sein des organisations explique le caractère conflictuel des buts officiels ou inavoués des divers groupes de pouvoir dans le système, et les incohérences de l'organisation qui répondent à des logiques contradictoires. Le plus souvent, ceux qui tiennent à conserver le pouvoir organisent l'entreprise de façon rigide, centralisée, formalisée, même si la nature de la technologie et de l'environnement suggère une organisation opposée. On peut penser par exemple qu'une des raisons de la structure rigide adoptée à tort dans la distillerie du Goïas décrite par J. Abrahao (1986) correspond au souci angoissé de la directrice de garder le contrôle du système, malgré sa faible compétence. Elle utilise les stratégies de contrôle du pouvoir décrites par Crozier et Fridberg (1977) et portant sur le savoir, le contrôle des règles, le contrôle des communications et des informations, et les relations entre le système et son environnement.

Conclusion

Notre espoir est qu'une meilleure analyse ergonomique du travail, jointe à une meilleure connaissance des facteurs déterminants les choix techniques et d'organisation, permettent aux dirigeants d'entreprises de voir plus clair, de dominer leurs craintes et de choisir des modes de production, de formation et d'organisation plus conformes aux exigences de la réalité en P.V.D.I.
Il n'existe pas de transfert passif réussi. Seule la reprise de la conception du dispositif technique permet d'utiliser au mieux les immenses capacités cognitives latentes des travailleurs de l'entreprise, et de leur proposer un travail qui en soit digne. La réussite économique des P.V.D.I., la sécurité, la santé et le niveau de vie des travailleurs de ces pays est à ce prix.

REFERENCES

- ABRAHO J.I. (1986) Organisation du travail, représentation et régulation du système de production. Etude anthropotechnologique de deux distilleries situées dans deux tissus industriels différents du Brésil. Thèse de Doctorat en Ergonomie. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU CNAM pub PARIS

- AKTOUF O. (1986) Une vision interne des rapports de travail : le cas de deux brasseries. Une approche ethnographique et une perspective interculturelle Canada-Algérie LE TRAVAIL HUMAIN 49 3 237-248

- AKTOUF O. (1986) Le travail industriel contre l'Homme ? ENTREPRISE NATIONALE DU LIVRE pub ALGER

- AW A. (1987) Les compétences des opérateurs dans les industries automatisées transférées dans les P.V.D.I. (Communication personnelle)

- BOUCHER M. (1983) Le tissu industriel CAHIERS FRANCAIS (numéro spécial) 211

- BURNS T., STALKER G.M. (1961) The management of innovation Tavistock pub LONDON

- CHARLESWORTH W.R. (1976) Human intelligence as adaptation, an ethological approach in RESNICK L.B. The nature of intelligence LAWRENCE ERLBAUM pub HILLS DALE N.J.

- CHILD J. (1972) Organization structure, environment and performance. The role of strategic choice SOCIOLOGY 1-22

- CORLETT E.N. (1980) Problems of work organization under conditions of technological change in DUNCAN K.D., GRUNEBERG M.M. WALLIS D. Changes in working life WILEY pub. NEW-YORK

- CROZIER M., FRIEDBERG E. (1977) L'acteur et le système SEUIL ed. PARIS

- DANIELLOU F. (1986) Cours d'Ergonomie de la productique. LABORATOIRE D'ERGONOMIE CNAM pub PARIS

- DE N.R. (1984) Alternative designs of human organizations SAGE pub NEW DELHI

- DELL'ORO A., PELLEGRINI V., ROVEDA C. (1978) Search of an appropriate transfer of technology to a developing region within an industrialized country p. 91-95

- DOS SANTOS N. (1985) Analyse ergonomique du travail des opérateurs de conduite dans une salle de contrôle du trafic d'une ligne de métro, une approche anthropotechnologique. Thèse de Doctorat en Ergonomie. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU CNAM pub PARIS

- FEUERSTEIN R. (1980) Instrumental enrichment UNIVERSITY PARK PRESS pub BALTIMORE

- FEUERSTEIN R., RAND Y., HOFFMAN M.B. (1979) The dynamic assement of retarded performers UNIVERSITY PARK PRESS pub BALTIMORE

- GOODNOW J.J. (1976) The nature of intelligent behavior : questions raised by cross cultural studies in RESNICK L.B. The nature of intelligence LAWRENCE ERLBAUM pub HILLSDALE (N.J.)

- HENDRICK H.W. (1987a) Macroergonomics : a concept whose time has come HUMAN FACTORS SOCIETY BULLETIN 30 2 p. 1-3

- HENDRICK H.W. (1987b) Organizational design in SALVENDY G. Handbook of Human Factors WILEY pub. NEW-YORK

- HENDRICK H.W., BROWN O. (1984) Human factors in organizational design and management NORTH-HOLLAND pub. AMSTERDAM

- HUTCHINS E. (1983) Understanding micronesian navigation in GENTNER D., STEVENS A.L. Mental models LAWRENCE ERLBAUM pub HILLSDALE (N.J.) p. 191-225

REFERENCES

- ABRAHO J.I. (1986) Organisation du travail, représentation et régulation du système de production. Etude anthropotechnologique de deux distilleries situées dans deux tissus industriels différents du Brésil. Thèse de Doctorat en Ergonomie. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU CNAM pub PARIS

- AKTOUF O. (1986) Une vision interne des rapports de travail : le cas de deux brasseries. Une approche ethnographique et une perspective interculturelle Canada-Algérie LE TRAVAIL HUMAIN 49 3 237-248

- AKTOUF O. (1986) Le travail industriel contre l'Homme ? ENTREPRISE NATIONALE DU LIVRE pub ALGER

- AW A. (1987) Les compétences des opérateurs dans les industries automatisées transférées dans les P.V.D.I. (Communication personnelle)

- BOUCHER M. (1983) Le tissu industriel CAHIERS FRANCAIS (numéro spécial) 211

- BURNS T., STALKER G.M. (1961) The management of innovation Tavistock pub LONDON

- CHARLESWORTH W.R. (1976) Human intelligence as adaptation, an ethological approach in RESNICK L.B. The nature of intelligence LAWRENCE ERLBAUM pub HILLS DALE N.J.

- CHILD J. (1972) Organization structure, environment and performance. The role of strategic choice SOCIOLOGY 1-22

- CORLETT E.N. (1980) Problems of work organization under conditions of technological change in DUNCAN K.D., GRUNEBERG M.M. WALLIS D. Changes in working life WILEY pub. NEW-YORK

- CROZIER M., FRIEDBERG E. (1977) L'acteur et le système SEUIL ed. PARIS

- DANIELLOU F. (1986) Cours d'Ergonomie de la productique. LABORATOIRE D'ERGONOMIE CNAM pub PARIS

- DE N.R. (1984) Alternative designs of human organizations SAGE pub NEW DELHI

- DELL'ORO A., PELLEGRINI V., ROVEDA C. (1978) Search of an appropriate transfer of technology to a developing region within an industrialized country p. 91-95

- DOS SANTOS N. (1985) Analyse ergonomique du travail des opérateurs de conduite dans une salle de contrôle du trafic d'une ligne de métro, une approche anthropotechnologique. Thèse de Doctorat en Ergonomie. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU CNAM pub PARIS

- FEUERSTEIN R. (1980) Instrumental enrichment UNIVERSITY PARK PRESS pub BALTIMORE

- FEUERSTEIN R., RAND Y., HOFFMAN M.B. (1979) The dynamic assement of retarded performers UNIVERSITY PARK PRESS pub BALTIMORE

- GOODNOW J.J. (1976) The nature of intelligent behavior : questions raised by cross cultural studies in RESNICK L.B. The nature of intelligence LAWRENCE ERLBAUM pub HILLSDALE (N.J.)

- HENDRICK H.W. (1987a) Macroergonomics : a concept whose time has come HUMAN FACTORS SOCIETY BULLETIN 30 2 p. 1-3

- HENDRICK H.W. (1987b) Organizational design in SALVENDY G. Handbook of Human Factors WILEY pub. NEW-YORK

- HENDRICK H.W., BROWN O. (1984) Human factors in organizational design and management NORTH-HOLLAND pub. AMSTERDAM

- HUTCHINS E. (1983) Understanding micronesian navigation in GENTNER D., STEVENS A.L. Mental models LAWRENCE ERLBAUM pub HILLSDALE (N.J.) p. 191-225

- KERBAL A. (1987) Quelques éléments de réflexion sur l'expérience de l'Algérie dans le domaine du transfert de technologie (Communication personnelle)

- KEYSER V. De (1987) Structuring of knowledge of operators in continuous process : case study of a continuous casting plant start up in RASMUSSEN J., DUNCAN K., LEPLAT J. New technology and human error WILEY pub. NEW-YORK

- KHALEQUE A. (1984) Job satisfaction and work in industry DHAKA UNIVERSITY pub DHAKA

- KHOULALI S. (1987) Productivité et compétences dans une cimenterie algérienne (Communication personnelle).

- LAWRENCE P., LORSCH J.W. (1967) Organization and environment managing differenciation and integration HARVARD BUSINESS SCHOOL pub BOSTON

- LEVI STRAUSS C. (1962) La pensée sauvage PLON pub PARIS

- LOEHLIN J.C., LINDSEY G., SPUHLER J.N. (1975) Race differences in intelligence FREEMAN pub SAN FRANCISCO

- LUND R.Y. (1986) Remanufacturing. The experience of the United States and implication for developing countries WORLD BANK technical paper 31 WASHINGTON D.C.

- MAGUEREZ C. (1966) La promotion technique du travailleur analphabète EYROLLES pub PARIS

- MECKASSOUA K. (1986) Etude comparée des activités de régulation dans le cadre d'un transfert de technologie. Approche anthropotechnologique. Thèse de Doctorat en Ergonomie. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU C.N.A.M. PARIS

- NEISSER V. (1976) General, academic and artificial intelligence in RESNICK L.B. The nature of intelligence LAWRENCE ERLBAUM pub HILLSDALE (N.J.)

- PAVARD B. (1985) Editeurs de textes et stratégies de rédaction de dépêches : analyse des contraintes pragmatiques INTELLECTICA 11 1 37-67

- PERROW C. (1967) A framework for the comparative analysis of organisations AMERICAN SOCIOLOGICAL REVIEW 194-208

- PINSKY L., THEUREAU J. (1988) Praxeologie empirique et conception des situations de travail LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU C.N.A.M. pub PARIS

- QUINTANILLA S.A.R. (1987) New technologies and human error : social and organizational factors in RASMUSSEN J., DUNCAN K., LEPLAT J., New technology and human error WILEY pub NEW-YORK

- ROBBINS S. (1983) Organization theory : the structure and design of organizations PRENTICE HALL pub ENGLEWOOD CLIFF (N.J.)

- SAGAR M. (1987) La gestion du mode dégradé dans une papeterie tunisienne (Communication personnelle)

- SAHBI N. (1984) La maintenance des étançons hydrauliques dans une mine de phosphates. Problèmes d'ergonomie et d'organisation. Mémoire d'Ergonomie C.N.A.M. LABORATOIRE D'ERGONOMIE C.N.A.M. pub PARIS

- SINAIKO N.W. (1975) Verbal factors in human engineering, some cultural and psychological data in CHAPANIS A. Ethnic variables in human factors engineering JOHN HOPKINS UNIVERSITY PRESS pub BALTIMORE p. 159-178

- VIDAL M. (1985) Le travail des maçons sur les chantiers en France et au Brésil (Sources et gestion des différences et des variations). Thèse de Doctorat en Ergonomie LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU C.N.A.M. pub PARIS

- WISNER A. (1976a) L'amélioration des conditions de travail dans les pays en développement économique (suggestions pour le programme PIACT du Directeur Général du B.I.T.). Textes généraux II. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU C.N.A.M. pub PARIS

- WISNER A. (1976b) Ergonomics in the engineering of a factory for exportation VIth I.E.A. Congress MARYLAND. Ergonomics, mental load, anthropotechnology. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU C.N.A.M. pub PARIS

- WISNER A. (1977) Information and training needs for choice of technology and working conditions P.I.A.C.T. I.L.O. pub GENEVE

- WISNER A. (1981) Une nouvelle activité des Nations Unies au service du développement économique : la spécification des transferts de technologie en fonction des données locales géographiques et anthropologiques (note à l'intention du Secrétaire Général Adjoint de l'O.N.U.) Textes Généraux IV Laboratoire d'Ergonomie du C.N.A.M. pub PARIS

- WISNER A. (1984a) Ergonomics or anthropotechnology, a limited or wide approach to working conditions in technology transfer in SHANAVAZ H. Ergonomics in developing countries C.E.D.C. pub LULEA UNIVERSITY LULEA SUEDE

- WISNER A. (1984b) Organization transfer toward industrially developing countries in HENDRICK H.W., BROWN O. Human factors in organizational design and management ELZEVIER pub AMSTERDAM

- WISNER A. (1984c) Nouvelles technologies et vieilles cultures CADRES C.F.D.T. 315

- WISNER A. (1985a) Ergonomics in developing countries ERGONOMICS 28 8 1213-1224

- WISNER A. (1985b) Quand voyagent les usines SYROS pub PARIS

- WISNER A. (1987) Variety of physical characteristics in industrially developing countries-ergonomic consequences INDUSTRIAL ERGONOMICS (à paraître)

- WOODWARD J. (1965) Industrial organization : theory and practice OXFORD UNIVERSITY PRESS pub LONDON.

LE TRAVAILLEUR FACE AUX SYSTEMES COMPLEXES ET DANGEREUX

Ce texte est celui d'une conférence donnée à l'Institut National du Travail le 12.11.87 dans le cadre du Colloque Futurisque. Ce texte et les autres documents du Colloque ont fait l'objet d'une publication de l'I.N.T. en 1988.

RESUME

L'étude approfondie de plusieurs catastrophes récentes permet de comprendre la situation réelle des travailleurs dans les situations complexes et dangereuses.

Les causes déterminantes de la catastrophe de Bhopal se situent au niveau de décisions erronées sur le plan technique et industriel, suivies de pertes financières importantes ayant provoqué le démantèlement du dispositif humain et technique de sécurité.

La conception du système d'informations et de contrôle de la centrale nucléaire de Three Miles Island ne permettait pas de faire le diagnostic des pannes dans le temps voulu. En effet, trois pannes non liées entre elles constituent une perturbation incompréhensible.

A Tchernobyl, c'est le mode de production d'électricité lui-même qui est en cause, ainsi que la faiblesse de l'enceinte de protection. Plus encore, il s'agit d'expérimentations dans des conditions graves d'atteinte à la sécurité.

On décrit encore à propos de deux centrales nucléaires américaines, à quel point des différences dans le style de direction accroissent la diversité des risques.

I - INTRODUCTION

Plusieurs accidents particulièrement dramatiques par leur ampleur ont fait l'objet de descriptions détaillées au cours des récentes années : Three Miles Island, Bhopal, Tchernobyl, Challenger à Cap Kennedy, etc ... L'étude de ces catastrophes a définitivement écarté la prédominance du comportement des opérateurs comme cause de l'accident.

Déjà depuis longtemps, l'école française d'ergonomie avait montré la multiplicité et l'interrelation des causes en construisant l'arbre de ces causes (Leplat et Cuny, 1979; Leplat, 1985). Une bonne application de cette méthode a été réalisée à propos de Bhopal par Grenouillet et coll. (1986). Toutefois, on limite habituellement l'analyse aux facteurs internes à l'établissement où s'est produit l'accident. L'approche anthropotechnologique, qui permet d'étudier le transfert de technologie, suggère de chercher plus loin encore l'origine des catastrophes. Ainsi, on passe du registre des responsabilités fonctionnelles des opérateurs et de leur encadrement, à celles des concepteurs et installateurs du dispositif technique, puis à celles de ceux qui déterminent les conditions économiques et sociales voire politiques dans lesquelles le dispositif dangereux a été conçu, installé et exploité.

La catastrophe de Bhopal permet une démonstration particulièrement convaincante de la hiérarchie des responsabilités. On considérera ensuite avec moins de détails 2 autres catastrophes citées plus haut (Three Miles Island, Tchernobyl) après avoir comparé l'état de 2 centrales nucléaires sans accident. Dans une dernière partie, on verra les difficultés cognitives et psychiques qu'affrontent les travailleurs dans les situations dangereuses.

II - LA CATASTROPHE DE BHOPAL (1984)

Cette catastrophe qui a provoqué plusieurs milliers de morts a fait l'objet d'études particulièrement compétentes et objectives de journalistes techniques indiens dont le principal est Praful Bidwaï. Un bon recueil de ces articles a été réalisé dans le livre de Padma Prakash (1985) publié à Hong-Kong et maintenant introuvable. L'article de Grenouillet et coll. (1986) cité plus haut en résume les aspects centraux. P. Lagadec (1986) a réuni les réactions d'industriels de la Chimie à propos de Bhopal. Les principales conclusions que l'on peut tirer de ces travaux sont les suivantes :

1) <u>L'erreur industrielle initiale</u>. Une "joint-venture", projet international entre la firme multinationale d'origine américaine Union-Carbide et l'Etat de Madhya Pradesh, Etat Indie situé au centre de la République Indienne, a permis de financer l'Usine de Bhopal destinée à produire un insecticide, le Sevin ou Carbaryl. L'investissement s'est monté à 250.000.000 roupies (la roupie vaut environ 2 frs).

Cependant, deux faits allaient rendre cet investissement très défavorable. D'une part, les insecticides de la catégorie à laquelle appartient le Carbaryl se vendaient de moins en moins bien. D'autre part, l'usine de Bhopal ne pouvait produire à un prix concurrentiel qu'à condition de réaliser l'ensemble des

transformations chimiques c'est-à-dire de produire les deux corps qui permettent de faire la synthèse du Carbaryl. La synthèse du M.I.C. (Méthyl Iso-cyanate) était bien maîtrisée industriellement. Il n'en était pas de même pour l'autre composant, l'Alpha-Naphtol tout au moins selon le procédé qui avait été adopté à Bhopal. On ne connaissait ce procédé qu'au niveau semi-industriel. On sait que le passage du niveau semi-industriel au niveau industriel est une opération difficile. C'était une erreur de le risquer à Bhopal dans une région éloignée des grands centres scientifiques et industriels. Après deux séries d'essais (1979-1980, 1981-1982), on a dû renoncer à la fabrication de l'Alpha-Naphtol a Bhopal. Il fallait importer ce produit et l'usine était condamnée à perdre de l'argent. En 1983, au lieu d'un profit attendu de 76.500.000 r, il y eut une perte de 50.000.000 r pour un chiffre d'affaires de 150.000.000 r avec une production de Carbaryl au 1/3 de la capacité. Pour 1984, avant la catastrophe, on avait prévu une perte de 40.000.000 r pour un chiffre d'affaires de 120.000.000 r.

2) Une politique aveugle d'économies. Cette politique porte sur la suppression de dispositifs essentiels de sécurité et sur la réduction du nombre et de la qualité du personnel.

Le M.I.C. est un produit instable qui peut polymériser si sa température s'élève. Cette élévation peut se produire quand du phosgène et de l'eau apparaissent à l'état d'impuretés en présence de fer. La polymérisation dégage elle-même beaucoup de chaleur et la pression du gaz s'accroît de façon dangereuse. Au cours de la catastrophe, la température du réservoir a probablement atteint 200°. La pression du gaz devait être de 13 bars. C'est vers minuit que la vanne de sécurité s'est ouverte par la pression affichée de 3.8 bars. En fait, tout cela est mal connu puisqu'il n'y avait ni thermomètre ni baromètre.

Le rôle de l'élévation de température dans les réservoirs de M.I.C. est si critique que ce produit doit être maintenu à 0° pendant le stockage. Or, par mesure d'économie, la réfrigération des réservoirs avait été arrêtée 5 mois auparavant.

Afin d'éviter une catastrophe, il était prévu qu'en cas d'accroissement de la pression, le gaz doive passer par des tours de lavage qui le neutralisent par la soude. Mais, une des tours avait été mise hors circuit et l'autre fonctionnait en commandes manuelles.

Enfin, le gaz qui s'échappe doit pouvoir être brûlé grâce à la présence permanente de la flamme pilote de la torchère. En fait, la torchère avait été mise hors circuit lors de l'arrêt de l'usine bien que les réservoirs fussent pleins.

Les alarmes avaient été mises hors circuits "pour ne pas gêner le voisinage", car en l'absence de la plupart des dispositifs de sécurité, elles n'auraient cessé de retentir. C'est probablement la raison du retard fatal mis à prévenir la population (2h.15 du matin). En fait, l'alerte avait été donnée dès 21h. par une équipe de maintenance. A 23h., la situation est reconnue grave et à 0h. 25, elle est perçue comme désespérée et la zone de stockage évacuée.

Un dernier élément technique grave avait été l'arrêt quasi total de l'achat de fournitures et de pièces détachées.

Un point de vue du personnel, la situation n'était pas moins dangereuse. La direction avait favorisé par des primes le départ des ingénieurs et des opérateurs. La moitié des cadres et ouvriers les plus qualifiés et les plus anciens avaient quitté l'entreprise. Les crédits de formation s'étant eux-mêmes

effondrés, des ouvriers furent transférés de l'usine d'Alpha-Naphtol à celle de M.I.C. sans formation. Ainsi, la formation technique des remplaçants ne fut pas assurée, la préparation des ouvriers qualifiés passe de 90 % à 25 %. Les postes de contrôle les plus importants de l'usine voient leurs effectifs baisser.

La situation était déjà très mauvaise en 1982. L'usine avait préparé une "semaine de Sécurité". 10 accidents se produisirent pendant les 7 jours et le 7ème jour, alors que la semaine devait s'achever par une cérémonie, 3 accidents se produisirent obligeant la Direction à annuler la fête.

Dans l'accord d'entreprise de 1983, on accepte que, dans chacune des 3 équipes, il n'y ait plus que 6 travailleurs sur 11 à l'usine de M.I.C. (Methyl Iso Cyanate), et 3 sur 10 dans l'usine de Sevin. Pour la maintenance, on passe de 6 à 4. Pour les cadres d'exploitation, la baisse fut de 25 à 45 %, 80 partirent en préretraite sur les 200 dont l'emploi avait été supprimé; les autres acceptèrent des travaux moins bien payés.

Dans la salle de contrôle du M.I.C., il n'y avait qu'un opérateur incapable de surveiller les 70 indicateurs en cas d'urgence. En outre, il ne disposait pas d'un manuel de procédures d'urgence, par exemple en cas d'accroissement inattendu de la pression dans les réservoirs de M.I.C.. En effet, par souci de secret industriel, les manuels d'instruction étaient enfermés dans une armoire dont seul le chef d'exploitation avait la clef.

Un des effets les plus redoutables de la situation de restriction de personnel était la baisse marquée du niveau de la maintenance : les tuyaux qui fuient, les valves qui ferment pas bien ne sont pas réparées, le contrôle anti-corrosion est arrêté, les réacteurs ne sont plus purgés complètement (vidange, lavage,

puis aération) avant les travaux de réparation. Cette négligence avait pourtant déjà causé, en 1981, la mort d'un ouvrier par intoxication au phosgène.

Pour résumer les circonstances précises de l'accident, un opérateur isolé et peu compétent se trouve en face d'un processus provoqué par des impuretés (phosgène) liées à un nettoyage insuffisant et peut-être à une fuite d'eau liée à un tuyau qui fuit ou une valve mal fermée. Le processus très exothermique n'est pas freiné par le système de refroidissement qui est arrêté et n'est pas signalé par la flamme pilote éteinte ou par des signaux sonores hors circuit. Les gaz produits ne sont pas neutralisés en quantite suffisante du fait de l'arrêt des tours de lavage et ne sont pas brûlés par la torchère éteinte.

3) Une usine mal conçue. Avant même que l'usine se révèle non rentable, des fautes inexcusables de conception avaient été commises.

- Chaque tour de neutralisation du gaz par la soude caustique (vent gaz scrubber) était conçue pour un débit de 85 kg/heure avec une pression maximale de 39,7 psi (2 kg/m^2) à 120°C, or le gaz s'est échappé à 20.000 Kg/heure à plus de 200°C. Une des tours était fermée. De même, la torchère avait des dimensions sans rapport avec le débit constaté.

- On notait très peu de redondance technique dans cette usine dangereuse. Les techniques de contrôle étaient anciennes dans cette usine moderne. Dans 15 endroits essentiels, il n'y avait que des indicateurs, pas d'enregistreurs. Le nombre et l'emplacement des alarmes et des arrêts d'urgence n'étaient pas convenables. D'importantes erreurs pouvaient être notées d'un point de vue d'ergonomie élémentaire. Sur le même tableau, on trouvait arbitrairement des indicateurs en PSI et en Kg/cm^2.

La température du réservoir de M.I.C. était indiquée de - 25 à 25° alors qu'en l'absence de système de réfrigération dans un pays chaud, on était bien au-dessus de 25°. De toutes façons, le thermomètre ne marchait pas ! L'indicateur de pression ne pouvait se lire que jusqu'à 2,5 kg/cm^2, niveau d'alarme.

- En fait, cette usine était très en dessous du niveau de sécurité de beaucoup d'usines indiennes anciennes.

4) Persécution syndicale. Les travailleurs de l'entreprise s'étaient émus depuis longtemps des dangers de l'usine de Bhopal.

Après la mort de l'ouvrier par intoxication au phosgène (1981), les responsables syndicaux font la grève de la faim pendant 15 jours pour obtenir de meilleurs conditions de réparation. Plusieurs dirigeants syndicaux sont alors licenciés.
Les divers syndicats de l'usine de Bhopal s'adressent aux dirigeants indiens et américains de l'usine pour l'amélioration de la sécurité. En particulier, ils demandent au Gouvernement de Madhya Pradesh le classement de l'usine comme dangereuse. Une campagne d'affiches est lancée dans la ville de Bhopal pour signaler les dangers qu'elle fait courir.

En 1983, la tension sociale s'accroît encore : 4 dirigeants syndicaux sont enfermés dans une salle pendant les heures de travail pour éviter les relations avec les autres travailleurs et la vérification des fautes de sécurité. 3 mois furent ainsi employés à une "formation spéciale".
Un autre incident est caractéristique des angoisses des travailleurs. Originellement, Union Carbide avait exigé un contremaître spécial pour l'usine de MIC considérée comme très dangereuse.

Quand le contremaitre compétent fut déplacé à Bombay et remplacé par quelqu'un d'incompétent qui avait, en outre, tout le reste en charge, il y eut une forte protestation syndicale, suivie de sanctions.

3 mois avant l'accident, un accident aboutit à la mutilation d'un ouvrier. Le syndicaliste qui dénonça à cette occasion la négligence de la direction fut licencié sans protestation des syndicats.

5) Absence d'action des Autorités

Tous les 4 à 6 mois, les valves de sécurité lâchaient du M.I.C. dans l'atmosphère depuis que l'usine fonctionnait. Dès 1974, du bétail buvant de l'eau polluée par l'usine était mort. Cette mare située à 2 km de l'usine (mais en plein bidonville) était entouré d'une zone sans végétation. 6 mois avant la catastrophe, le département de planification du Gouvernement de Madhya Pradesh avait classé 18 industries comme dangereuses, mais pas l'usine de Union Carbide, alors que les indices Biological Oxygen Demand (BOD) et Chemical Oxygen Demand (COD) étaient 10 à 100 fois plus élevés que la limite tolérée. Ces mesures avaient été faites par le service du contrôle de la pollution.

En fait, la gravité de la situation de l'usine de Bhopal entourée de bidonvilles était connue depuis longtemps des milieux politiques. Un fonctionnaire des services de sécurité avait demandé le déplacement de l'usine à plus de 10 km de Bhopal. Cela représentait une mesure très coûteuse pour Union Carbide ... et le Gouvernement du Madhya Pradesh et probablement inefficace car l'usine située initialement à 3 km de l'agglomération avait attiré une forte population de migrants. Les bidonvilles ainsi constitués ne manqueraient pas de se reconstituer dans le nouveau site.

Le rôle de la municipalité de Bhopal aurait été d'empêcher ces bidonvilles de se constituer, mais cela était socialement impossible. Une solution opposée fut choisie pour des raisons politiques, celles de rattacher les bidonvilles à Bhopal peu de temps avant la catastrophe.

6) Pourquoi tant de morts ? Il semble que les responsables de l'usine n'aient pas imaginé que l'usine arrêtée pouvait être à l'origine de l'énorme fuite de gaz qui, en fait, venait de réservoirs en mauvais état et sans réfrigération. Aussi,ne prévinrent-prévinrent-ils pas la police et ne firent-ils marcher la sirène que 2 heures après le début de la fuite, quand tout était terminé. Les ouvriers de l'usine qui avaient compris le phénomène mène et qui connaissaient l'orientation du vent purent se protéger. La population des bidonvilles fut donc prévenue trop tard, elle ne connaissait pas la bonne direction de fuite et n'avait pas de moyens de transport.

Une autre cause importante de haute mortalité fut l'affirmation répétée pendant 5 jours par la direction et les médecins de l'entreprise qu'il ne s'agissait pas de quelque chose de grave. Or, le M.I.C. est utilisable comme gaz de combat, il provoque une forte irritation de la conjonctive et des voies respiratoires. L'oedème pulmonaire peut conduire à l'asphyxie. En outre, au contact de l'eau secrétée par l'organisme, le methyl isoyanate se décompose pour produire de l'acide cynhydrique qui tue (par anoxie cellulaire). On ne sait si cette erreur grave de la direction de l'entreprise quant aux risques toxiques est liée au souci de nier ses responsabilités ou plus probablement à l'ignorance des divers aspects de la toxicité du M.I.C.
On doit signaler comme conditions aggravantes, la faiblesse du dispositif de santé du Madhya Pradesh, en particulier dans le

domaine de la toxicologie industrielle bien que le chef de service de médecine légale de l'Hôpital Hamidia (le Dr Heere Schandra) ait fait dès le premier jour le diagnostic correct en ce qui concerne l'asphyxie par le M.I.C. et l'intoxication par H.C.N.. Enfin, la dénutrition marquée et le mauvais état sanitaire de la population des bidonvilles étaient des circonstances aggravantes.

7) Bhopal nous concerne-t-il ? Il ne s'agit pas de mettre en cause une solidarité humanitaire, mais de mesurer nos responsabilités et les risques que nous courons. On sait d'ailleurs que depuis la catastrophe et en liaison avec les grandes difficultés financières rencontrées de ce fait par Union Carbide, la division de Chimie Agricole d'Union Carbide a été achetée par Rhône-Poulenc. Peut-être les dirigeants de l'usine La Littorale près de Béziers disposent-ils maintenant des renseignements qui leur furent refusés après la catastrophe. Or, cette usine française utilise du M.I.C. pour fabriquer un insecticide.

D'un point de vue plus général, chacun doit s'inquiéter quand les difficultés financières de l'entreprise conduisent à remettre en cause la sécurité en supprimant des systèmes efficaces de contrôle ou en dispersant un personnel compétent et expérimenté. Cela est particulièrement redoutable dans les systèmes complexes et dangereux dont nous étudions ici le fonctionnement, plus redoutable encore quand il s'agit d'un dispositif mal conçu du point de vue ergonomique et qui demande, de ce fait, une activité cognitive intense et complexe des groupes d'opérateurs. Or, on sait que cette activité est rarement formalisée et parfois niée. Enfin, le refus d'entendre les travailleurs et leurs représentants est encore une façon de déconnecter les systèmes de sécurité qui sont, dans ce cas, les

systèmes sociaux du travail. On peut enfin rapprocher le retard à informer les populations, la police, les médecins avec ce qui s'est passé récemment après les accidents qui ont eu lieu dans l'usine chimique Sandoz de Bâle, et antérieurement dans l'usine chimique italienne de Seveso qui dépend du groupe suisse Hoffman-Laroche. De façon plus générale encore, est-il possible de rapprocher un accident survenu dans une usine en difficulté d'un pays en développement industriel avec ce qui s'est produit dans 3 grandes autres catastrophes survenues au coeur de l'arsenal technique des 2 plus grandes puissances économiques : U.S.A. et U.R.S.S. ?

III - SURETE NUCLEAIRE

Peut-on trouver des erreurs technico-économiques majeures, comme celles qui ont été observées à Bhopal, dans les dispositifs techniques complexes installés dans les pays hautement industrialisés au centre même de leurs activités essentielles ?

Peut-on rencontrer de graves négligences aboutissant à des dégradations profondes de la sécurité au sein d'usines coûteuses appartenant aux plus grandes entreprises mondiales ?

Il faut malheureusement répondre par l'affirmative dans les deux cas :

1°) NEGLIGENCES DE LA SECURITE DANS LES USINES MAL DIRIGEES. C'est un journaliste du Wall Street Journal, D. Wessel (1987) qui donne la meilleure, en tous cas, la plus franche description des effets contrastés sur la sécurité de 2 conceptions de la direction d'une usine. Les 2 usines sont situées dans le Massachusetts

et le Connecticut à 130 km de distance. Ce sont des centrales à eau bouillante de GENERAL ELECTRIC d'une capacité voisine (670 et 600 megawatts) livrées en 1970 et 1972 et appartenant à de très grandes firmes. Pilgrim dépend de Boston Edison et Millstone de Northeast Utilities. Les différences de fonctionnement sont, par contre, considérables : P (Pilgrim) produit à 53 % de sa capacité et M (Millstone) à 68 %. L'exposition moyenne annuelle de l'ensemble des travailleurs (1984/1986) est de 1949 rems pour P et 645 rem pour M. Les déchets à faible radioactivité ont été en 1984/1986 de 1.700 m3 pour P et de 609 m3 pour M. Enfin, les amendes imposées par la N.R.C. (Nuclear Regulatory Commission : Commission de Réglementation Nucléaire) ont été d'un montant de 660.000 $ pour P et nulles pour M entre 1972 et 1987. Le résultat de cette situation est que la centrale de Pilgrim a été fermée en Avril 1986 pour une durée indéterminée.

Les éléments principaux de la critique de l'usine de Pilgrim sont les suivants :

2°) <u>Graves négligences de maintenance</u>. Lors de l'arêt de P, il y avait un arriéré de 12.000 réparations non exécutées. 15 mois après l'arrêt, la moitié ont été réalisées. Aucune d'entre elles n'était vitale, mais ces négligences montraient l'incapacité de la direction de P à maîtriser la maintenance.

Les installations contre l'incendie comportaient tellement de matériel brisé et tellement de violations des règles contre l'incendie à P que la direction de l'usine dut embaucher des surveillants pour observer en permanence 72 points critiques de l'usine.

2°) Conditions de travail défavorables. En dehors de l'aspect le plus grave, la contamination radiobiologique 3 fois plus élevée à P, on peut noter des situations dangereuses par leur durée. On cite le cas d'un opérateur de salle de contrôle qui avait travaillé à P. 97 heures pendant une seule semaine. En fait, il ne s'agit que d'un cas extrême. "Pendant des années", affirme le rapport de la N.R.C., "P. ne fonctionnait qu'en exigeant un travail supplémentaire considérable. Au contraire, à M., il y a toujours eu assez de personnel depuis 16 ans pour qu'une semaine sur six soit consacrée à la formation."

3°) Mauvaise qualité de la Direction. La N.R.C. a fermé P. et d'autres centrales nucléaires non pour des fautes techniques, mais pour la mauvaise qualité de leur direction (mismanagement) ce qui est tout à fait nouveau. On est loin des discussions sur la fiabilité des opérateurs quand un rapport N.R.C. affirme que "les pires" opérateurs se voient attribuer une part de responbilité tout à fait excessive par rapport à la réalité".

D. Wessel considère que ces erreurs de direction se situent très haut dans la hiérarchie. Il semble que pour la Société Boston Edison, qui ne possède qu'une seule centrale nucléaire, il s'agit là d'une usine qui produit de l'électricité comme avec une autre source, charbon ou pétrole. Contrairement aux usines à énergie fossile, les usines nucléaires demandent des compétences de direction qui doivent déterminer des changements d'affectation entre direction d'usine et direction technique, et même direction générale de la firme. C'était le cas à M. mais non à P. où le directeur n'était pas considéré comme capable de faire partie de l'état-major.

Une telle situation retentit sur la gestion de l'encadrement technique à M. il n'y eu que 2 directeurs techniques en 5 ans, à P. il y a eu 3 directeurs techniques au cours de sa dernière

année de fonctionnement. A Pilgrim, on voyait rarement le directeur technique dans la salle de contrôle, ce n'était d'ailleurs pas la même personne qui contrôlait le fonctionnement quand l'usine marchait ou quand elle était arrêtée pour alimentation ou réparation. Au contraire à Millstone, le directeur technique passe à la salle de contrôle presque tous les jours pour contrôler le journal de bord et bavarder avec les opérateurs. Cette visite est elle-même recommandée fortement au directeur technique de l'usine par le directeur général technique (vice-président for nuclear opérations) de Northeast Utilities.

Plus en amont encore, D. Wessel note qu'il y a 4 usines nucléaires au sein de Northeast Utilities, ce qui justifie un encadrement et une expertise importants, ce qui n'est pas le cas à Boston Edison qui ne possède qu'une usine.

2°) NEGLIGENCES DE CONCEPTION ET D'ENTRETIEN DU DISPOSITIF TECHNIQUE OU ERREUR HUMAINE - PERROW à THREE MILES ISLAND

Il n'est pas possible de rattacher clairement la situation à Three Miles Island (T.M.I.) juste avant l'accident à celles qui ont été décrites plus haut, car c'est précisément l'accident de T.M.I. survenu en Mars 1979 qui a déclenché le type d'étude que décrit Wessel (1987).

Toutefois, l'analyse de la genèse de l'accident de T.M.I. a été faite de façon particulièrement remarquable par Perrow (1982). Il montre que l'analyse du travail et plus généralement l'analyse de la situation permettent de mettre à sa place limitée la "faute" des opérateurs et de montrer l'importance des erreurs de conception et de réalisation, et du mauvais état du système technique lié aux moyens trop faibles du système de maintenance.

"L'erreur humaine, écrit Perrow, est fréquemment citée comme la cause la plus importante de l'accident. Cette thèse doit être examinée en détail car elle cache plus de choses qu'elle n'en explique. A cause de la complexité du "transitoire" (ce terme technique indique une perte de liquide réfrigérant, plutôt que quelque chose de température, d'éphémère), il est nécessaire de simplifier le récit. Le "transitoire" a pour origine un problème de filtrage de la résine dans l'eau allant aux générateurs de vapeur qui produisent la vapeur qui met en mouvement les turbines. Le problème s'était présenté déja deux fois dans cette usine et on était en train de réparer le système. Cette fois-ci, le blocage a été déterminé par l'arrêt d'une pompe ce qui a perturbé automatiquement les turbines et mis en marche des pompes d'urgence, mais, par erreur, les conduits des pompes d'urgence avaient été laissés fermés lors d'une opération de maintenance deux jours plus tôt. Ceci est une erreur opératoire grossière, mais pas très importante en soi, comme tous les défauts à l'origine de l'accident. Le coeur du réacteur commença dès lors à accroître sa température parce que l'eau ne passait plus dans le générateur de vapeur pour refroidir le système propre de réfrigération du coeur. Le réacteur s'arrêta, comme prévu, interrompant le processus de fission (bien qu'il y ait encore de la "chaleur d'extinction" produite dans le coeur). Comme le réacteur devenait plus chaud et que la pression s'accroissait, une valve s'est ouverte comme prévu pour réduire la pression (cette valve "pressure operated relief valve" ou PORV est parfois désignée par le nom commercial que lui donne la Société Dressler "valve électromagnétique de détente"). La pression du réacteur revint à la normale environ 13 secondes après le "transitoire", mais la PORV ne s'est pas refermée bien que l'indicateur du tableau de contrôle signala le contraire. Les opérateurs pensèrent que la valve s'était refermée. Comme elle était, en fait, ouverte, une perte accidentelle de réfrigérant s'ensuivit car le réfrigérant destiné au coeur passait par la valve et s'écoulait vers un réservoir.

Les opérateurs pensaient qu'il y avait eu seulement un bref incident qui avait arrêté les turbines et fait divergé le réacteur. Ils ne savaient pas qu'ils étaient en situation de LOCA (loss of coolant accident, perte accidentelle de réfrigérant) depuis près de deux heures et demie. A ce moment là, le mal était fait.

Pendant ce temps, la pression du réfrigérant était tombée et il y avait un risque de vaporisation du réfrigérant. Les pompes d'injection à haute pression (High Pressure Injection Pumps, HPI) fonctionnèrent comme prévu injectant de l'eau venant d'un réservoir d'urgence dans le réfrigérant du coeur. Les opérateurs virent la pression monter rapidement dans le pressuriseur. Ne sachant pas qu'ils étaient en situation de perte de réfrigérant (LOCA), ils arrêtèrent les pompes pour éviter que le récipient de pressurisation ne devienne une masse solide d'eau susceptible de rompre le système de réfrigération du réacteur. Rétrospectivement, cela fût considéré comme une erreur majeure par tous les commentateurs. Les opérateurs ne comprirent pas la signification de la chute de pression correspondante dans le coeur lui-même; il n'était pas rempli de liquide réfrigérant comme ils le pensaient mais d'un mélange de vapeur et d'eau qui contenait beaucoup de bulles. L'année précédente, les opérateurs d'une usine DAVID-BESSE avaient aussi expérimenté l'effet d'une PORV bloquée, ils ne comprirent pas qu'ils étaient en LOCA, et ils arrêtèrent aussi les HPI. Heureusement, il n'y eu pas de dommage. [Mais on ne tira pas non plus la leçon du malentendu lié à un mauvais système d'information].

Comment l'opérateur de T.M.I. a-t-il pu ne pas comprendre que le coeur du réacteur n'était plus dans un bain de réfrigérant et qu'il était surchauffé ? Il n'y a pas de lecture directe du niveau de réfrigérant dans le coeur. Un dirigeant de Babcock et

Wilcox affirma qu'un tel indicateur serait difficile à fabriquer, trop coûteux et déterminerait d'autres complications. Cependant, il y avait plusieurs mesures directes, mais elles se révélèrent erronées ou ambiguës. Un indicateur de pression dans le réservoir d'écoulement aurait pu laisser deviner une LOCA, mais il était situé à la face arrière du tableau de contrôle. Ne pensant pas qu'il y ait un LOCA, les opérateurs n'avaient pas de raison d'aller le regarder. Les temperatures du conduit d'écoulement auraient pu indiquer le problème, mais les opérateurs avaient l'habitude de négliger ces indications car le conduit d'écoulement avait des valves fuyantes et ils pensèrent qu'un niveau particulièrement élevé avait été déterminé par la chaleur résiduelle. L'indicateur de la pression dans le coeur même se trouvait à côté de l'indicateur montrant un accroissement de la pression dans le pressuriseur. Ces deux indicateurs devaient normalement varier dans le même sens, il était inconcevable pour les opérateurs que l'un monta alors que l'autre descendait. Ils firent confiance à l'indicateur qui mesurait la pression dans le pressuriseur et fermèrent les H.P.I. Ils négligèrent l'indicateur qui mesurait la pression dans le coeur car ils pensaient que l'indicateur disait que la PORV était fermée puisque, pour eux, la pression avait monté quelque temps dans le coeur, puis avait baissé et parce que la baisse de pression pouvait être due à une injection soudaine d'eau froide. Finalement, ils étaient habitués à recevoir des indications erronées - il y en eut plusieurs pendant le "transitoire" - aussi tenaient-ils compte seulement de celles qui leur paraissaient avoir un sens et négligeaient ou écartaient celles qui n'allaient pas dans la même direction. Enfin, on doit noter que la salle de contrôle fut rapidement remplie de directeurs et d'ingénieurs et aucun d'entre eux ne pensait que le problème venait d'un LOCA.

La réalité apparut lors des auditions de la Commission Presidentielle. En ce qui concerne les opérateurs, la Commission conclut qu'il y avait "une sévère défaillance de formation" puisqu'ils ne réussirent pas à faire le diagnostic du LOCA qu'ils étaient "oublieux" du danger de priver le noyau de son bain de réfrigérant et que deux lecteurs d'indicateurs "auraient dû avertir clairement les opérateurs de T.M.I.2 souffrait d'un LOCA". Toutefois, Théodore Tyler, un physicien théoricien de l'Université Princeton fit remarquer très précisément que, pour les opérateurs, il n'y avait aucun moyen de savoir à quel type d'accident ils avaient affaire quand ils arrêtèrent les H.P.I. Taylor nota que la décision d'arrêter les H.P.I. doit être prise avant que l'on puisse savoir s'il s'agit d'une mauvaise décision. Malgré ces considérations, le rapport de la Commission soutint le jugement rétrospectif de l'industrie selon lequel il s'agissait d'une erreur insigne des opérateurs. Ce point de vue fut si largement accepté que le Secrétaire britannique pour l'Energie considéra que la cause de l'accident était une "erreur stupide".

Considérons à nouveau la situation : 110 alarmes retentissaient, les indicateurs essentiels étaient inaccessibles, des étiquettes indiquaient les réparations à faire couvraient les voyants lumineux des indicateurs voisins, l'imprimante de l'ordinateur avait un retard d'environ 90 minutes, des indicateurs essentiels marchaient mal, la salle se remplissait d'experts, diverses parties de l'équipement étaient hors de service ou brusquement hors d'usage. En face de ces faits, la conclusion d'un "déficit sévère de formation" semble le fruit d'un préjugé sévère et écarte notre regard du caractère hautement probable de cet incident même si la formation était convenable.

Les accidents normaux ont des causes banales. Presque tous les éléments qui ne marchaient pas bien lors du "transitoire" avaient déjà fonctionné de façon incorrecte auparavant. Aucune n'était catastrophique en elle-même. Cependant, des causes banales sont incompréhensibles ou seront incompréhensibles à certaines équipes d'opérateurs dans certaines circonstances, quelle que soit leur formation. C'est la raison pour laquelle, il y a déjà eu beaucoup d'incidents nucléaires et qu'il y en aura d'autres".

Le texte tout à fait remarquable de Perrow dont on vient de faire une longue citation, montre l'extrême difficulté pour les opérateurs de former une representation fonctionnelle du système, une image opératoire dès qu'une ou surtout plusieurs anomalies se produisent. Perrow signale d'ailleurs les moyens multiples que les opérateurs emploient pour améliorer la situation très mal conçue pour aider à la formation de l'image opératoire.
On peut à nouveau citer Perrow : "Les politiques d'entreprise, la conception des usines et de l'équipement, les pressions commerciales contribuent toutes à "l'erreur des opérateurs". Le tableau de contrôle hautement inadéquat en est l'un des exemples les plus nets. Les opérateurs y avaient ajouté des étiquettes de couleur, des boutons de contrôle fabriqués par eux et des éléments supplémentaires pour faire apparaître la logique du système qui était si mal présentée par les fabricants d'équipement et ignorée par la Nuclear Regulatory Commission (Commission Nationale de Contrôle). L'étude la plus complète du problème fut conduite par Lockheed et conclut que les opérateurs travaillaient dans des conditions de handicap sévères. On pourrait conclure en affirmant que l'erreur des opérateurs est de ne pas être capable de surmonter complètement le caractère complexe et inadéquat de l'équipement qu'ils doivent utiliser".

3°) PROCEDE DANGEREUX, REALISATION IMPARFAITE ET RUPTURE D'ORGANISATION A TCHERNOBYL

Comme dans les autres cas examinés dans ce texte, l'accident de Tchernobyl relève de causes multiples situées à des distances plus ou moins grandes de l'événement lui-même : choix d'un procédé dangereux, faiblesse des enveloppes de protection, insuffisance des contrôles et des automatismes, ruptures de l'organisation.

Dans les centrales nucléaires, les données sont complexes par nature et les rivalités techniques de grande importance commerciale ne permettent pas toujours de savoir la vérité. Toutefois, il semble bien que le procédé R.B.M.K. (réacteur à eau bouillante modérée au graphite) utilisé à Tchernobyl possède une instabilité intrinsèque qui semble avoir joué un rôle important au cours de l'accident.

Comme l'écrit Gauvenet (1986) les faiblesses du réacteur tiennent d'abord à son principe même, le modérateur étant en graphite maintenu en fonctionnement à une température élevée et le fluide de refroidissement étant de l'eau. A haute température, en cas d'incident grave, cette eau peut se décomposer en présence du zirconium des tubes combustibles et donner ainsi de l'hydrogène qui crée un risque d'explosion et d'inflammation du graphite De plus, lorsque la quantité de vapeur que contient l'eau s'accroît en fonction de la température et de la pression, le nombre de neutrons produits dans le réacteur augmente au lieu de diminuer comme c'est le cas dans la plupart des réacteurs connus : on dit que le coefficient de vide est positif, ce qui provoque une instabilité grave puisque le réacteur peut s'emballer si l'on ne prend pas des mesures particulières pour éviter ce phénomène.

Il existe aussi une instabilité dans l'espace du coeur car les éléments combustibles sont peu couplés entre eux et réagissent comme s'il s'agissait de petits réacteurs quasi indépendants.

D'autres aspects ont été discutés à propos de Tchernobyl, ils concernent la conception et la réalisation des enveloppes de protection en ciment. On note, en particulier, l'insuffisance de l'épaisseur et du poids du socle, insuffisance qui a menacé de polluer le réseau hydraulique souterrain de la région. On sait aussi que l'enceinte en béton était elle aussi trop petite, ses parois étaient trop légères et trop minces. Elle s'est rompue et a laissé échapper les éléments radioactifs dans l'atmosphère quand elle a explosé au contraire de l'usine de Three Miles Island où l'enceinte a résisté et a évité aux U.S.A., la catastrophe qui a atteint l'U.R.S.S.

Il est difficile de savoir si les enveloppes de ciment ont été conçues de façon trop modeste ou si ce sont les entreprises de construction et le Ministère dont elles dépendent qui n'ont exécuté les plans que de façon partielle.

Un procédé aussi dangereux que R.B.M.K. a pu fonctionner longtemps sans accident. Toutefois, il aurait dû bénéficier de prélèvements multiples d'informations sur le fonctionnement et d'automatismes plus perfectionnés que ceux qui étaient réalisés à Tchernobyl. En fait, on comptait beaucoup sur la qualité du savoir et des stratégies des opérateurs et de l'encadrement de la centrale.

Les déterminants immédiats de l'accident sont doubles d'une part, le réacteur avait été monté en puissance immédiatement avant l'essai pour des raisons d'exploitation du réseau.

Le fonctionnement à faible puissance requis par le test était alors devenu pratiquement impossible avant un certain délai en raison de l'effet Xenon. Il aurait fallu l'arrêter (Gauvenet, 1986).
En fait, l'équipe d'experimentation venue de Moscou avait la volonté d'experimenter immédiatement, et elle disposait de pouvoirs exorbitants. Faute de formation et d'informations suffisantes, cette équipe a mis hors service les sécurités essentielles notamment celles qui, précisément, tendaient à resoudre les problèmes posés par le reacteur lui-même. Il en est résulté dans les circonstances de fonctionnement particulieres liées au test en cours, une montée en puissance du reacteur impossible à contrôler puisque les moyens de lutte avaient été mis hors service. Les explosions, l'incendie durable, le rejet dans l'atmosphère des produits radioactifs devenaient inéluctables.

En outre, personne ne pouvait plus agir en raison de graves conflits de représentation. On sait bien en ergonomie qu'il y a plusieurs niveaux de représentation des phénomènes dans un système complexe :

- celui des physiciens ou des chimistes dont le caractère général permet un bon niveau d'explication de principe, mais ne tient pas compte des contingences liées aux dispositifs concrets qui ont été choisis,
- celui des concepteurs du dispositif technique qui ont suivi une logique claire souvent étayée par des calculs complexes et qui font rarement l'hypothèse de la distorsion de ce schéma dans la réalité concrète du fonctionnement,
- celui des responsables techniques de l'usine qui connaissent une partie des adaptations qu'ils ont dû consentir, mais qui trop souvent, comme le directeur technique de Pilgrim, n'ont

qu'une vue assez abstraite du fonctionnement de l'usine,
- celui des opérateurs qui sont au courant de toutes les questions que pose le fonctionnement douteux des indicateurs et du dispositif lui-même. On imagine combien il y avait de différence entre la représentation des opérateurs de P. plus ou moins au courant des 12.000 réparations en retard et la représentation de leur directeur technique.

Le choix est évidemment beaucoup plus grave quand se heurtent la 1ère et la 4ème représentations. Les scientifiques de Moscou ayant pris les commandes, suspendu l'action des dispositifs de sécurité et orienté le fonctionnement de façon dangereuse, personne, ni eux, ni les opérateurs n'avaient plus de représentation concrète des phénomènes et ne pouvaient avoir une action efficace pour ramener le fonctionnement à la normalité.

On sait que la règle française est celle de la maîtrise absolue du directeur d'usine nucléaire, même en cas d'expérimentation. Une règle aussi valable soit-elle ne doit jamais suffire à rassurer. Il faut en constater jour après jour la réalité.

IV - INCERTITUDE ET ANXIETE DANS LES INDUSTRIES DE PROCESSUS CONTINU (DANIELLOU F., DEJOURS C., WISNER F., 1987)

A l'occasion de la description des situations dramatiques de Bhopal, T.M.I. et Tchernobyl, on a évoqué les difficultés d'interprétation et donc de décision éprouvées par les opérateurs.

Dans le domaine du raisonnement sur l'incertain, Rasmussen et Rouse (1980) ont publié un livre intitulé "Human detection and diagnosis of systems failures". On lira, en particulier,l'article de Bainbridge qui montre comment se constitue le "modèle interne"

(qu'Ochanine appelait "image opératoire") à partir duquel sont interprétées les anomalies et prises de décision. Il est évident que ce modèle a des limites et que certaines combinaisons rares et complexes de défaillances du système comme celles de T.M.I. dépassent les capacités d'intégration du cerveau humain, tout au moins dans les délais qu'impose le processus. Il est malheureusement vraisemblable que l'on ne saurait construire de programmes d'aide à la décision destinés aux opérateurs affrontés à de telles situations sans que ces programmes ne constituent des instruments dangereux dans d'autres combinaisons de défaillances que celles pour lesquelles ils ont été conçus.

Il n'est pas étonnant que l'expression utilisée pour décrire l'état de ces opérateurs expérimentés, pendant l'incident, ait été "bewildered", abasourdi, désorienté, confondu. On voit bien ici le passage d'une situation incompréhensible à une pseudo-faillite de la raison et à la psychopathologie (Wisner A., 1981).

Il est important de décrire non seulement l'incertitude de la représentation, les difficultés de décision et leurs causes, mais aussi leurs relations avec l'anxiété qui en découle (Dejours, 1980; Daniellou, 1985; Dejours, Veil, Wisner, 1985). L'étude des 3 accidents de Bhopal, T.M.I. et Tchernobyl et de la dégradation de la centrale Pilgrim montre la certitude croissante de l'accident prochain. On peut se souvenir, par exemple, des démarches syndicales et de la campagne d'affiches dans Bhopal. La montée de l'anxiété a un premier effet bénéfique car elle accroît l'attention des opérateurs, mais surtout un effet secondaire redoutable lors de la survenue de l'accident lui-même qui ne se présente jamais précisément comme on pouvait le prévoir. On peut souligner l'analogie entre les causes d'accidents dans les divers pays. L'autorité excessive dont s'est prévalue l'équipe d'expéri-

mentateurs de Tchernobyl n'a d'égale que celle qui a contraint à l'exécution du lancer malheureux de Challenger à Cap Kennedy. On sait que, dans ce cas, le gel nocturne, exceptionnel en Floride, avait modifié les qualités de résistance de certains joints dont la rupture redoutée par le constructeur, déclencha la déchirure des parois d'un reservoir de liquide propulsion et l'incendie consécutif.

Il est possible que l'analyse qui précède soit perçue comme pessimiste. En fait, les systèmes complexes et dangereux constituent une menace permanente pour la vie des travailleurs et des populations, pour l'économie de l'entreprise et du pays, pour l'avenir d'une branche industrielle, voire pour l'avenir de l'humanité. Les moyens de recherches et de réalisation de la prévention demeurent actuellement très en-dessous des nécessités surtout maintenant qu'il est certain que la condamnation rituelle du lampiste ne condamne que les juges incompetents.

- AMERICAN NUCLEAR SOCIETY (1986) Chernobyl : The soviet report NUCLEAR NEWS 1-8

- DANIELLOU F., BOEL M. (1984) Automatized process control : The roles of computer available information and field collected information in WHITFIELD D. Ergonomics problems in process operations PERGAMON PRESS pub. OXFORD

- DANIELLOU F. (1985) La conduite de processus chimiques; presence et pression du danger in DEJOURS C., VEIL C., WISNER A. Psychopathologie du Travail E.S.F. pub. PARIS

- DANIELLOU F. (1986) L'opérateur, la vanne, l'écran : l'ergonomie des salles de contrôle. A.N.A.C.T. pub. PARIS

- DEJOURS C. (1980) Anxiété et travail TRAVAIL ET EMPLOI 5 29-42

- DEJOURS C., VEIL L., WISNER A. (1985) Psychopathologie du Travail E.S.F. pub. Paris

- DHILLON B.S. (1986) Human reliability with human factors PERGAMON PRESS pub OXFORD

- GAUVENET A. (1986) Quelques réflexions sur l'accident de Tchernobyl INSTANTANES TECHNIQUES 1

- GRENOUILLET P., LAVENANT P., PICOT A., BERTIN O. (1986) Bhopal, l'arbre des causes. PREVENTIQUE 10 17-24

- HORNICK R.J. (1987) Dreams, design and destiny HUMAN FACTORS 29 1 111-121

- KAHNEMAN D. et coll. (1982) Judgment under uncertainty : heuristics and biases. Cambridge University Press pub. CAMBRIDGE (Mass.)

- KEMENY J.G. and coll. (1979) The President's commission on the accident at Three Miles Island - U.S. Governement printing office WASHINGTON D.C.

- LAGADEC P. (1986) L'industrie chimique après Bhopal : les leçons PREVENTIQUE 10 10-16

- LEPLAT J. (1985) Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail ARMAND COLIN pub. PARIS

- LEPLAT J., CUNY X. (1979) Les accidents du travail PUF pub. PARIS

- PERROW C. (1982) The president's commission and the normal accident in SILLS and coll. Accident at Three Miles Island. The human dimensions WESTVIEW pub. BOULDER (col.)

- PRAKASH P. (1985) Bhopal : industrial genocide, a unique compilation of documents from indian publications ARENA PRESS pub HONKONG

- RASMUSSEN J., ROUSE W.B. (1980) Human detection and diagnosis of system failures PLENUM pub. NEW-YORK

- ROGOVIN M., FRAMPTON G.T. (1980) Three Miles Island : a report to the commissioners and the public U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. Special Inquiry group WASHINGTON D.C.

- SCHOLZ (1983) Decision making under uncertainty NORTH HOLLAND pub. AMSTERDAM

- SILLS D.L., WOLF C.P., SHELANSKI V.B. (1982) Accident at Three Miles Island. The human dimension WESTVIEW pub. BOULDER (Col.)

- U.S. GOVERNMENT (1986) Report of the Presidential commission on the Space Shuttle Challenger accident WASHINGTON D.C.

- WESSEL D. (1987) Study in contrasts : Pilgrim and Millstone, two nuclear plants have disparate fates THE WALL STREET JOURNAL NEW-YORK (28.7.87)

- WISNER A. (1981) Organisational stress, cognitive load and mental suffering in Salvendy E., Smith M.J. - Machine pacing and occupational stress. Taylor & Francis pub., LONDON, p. 37-44.

- WISNER A., DANIELLOU F., DEJOURS C. (1987) Uncertainty and anxiety in continuous process industries NORO K. Occupational health in automated factory TAYLOR AND FRANCIS pub. LONDRES.

* L'aide à la planification

Le partage temporel de l'action est une donnée trop souvent négligée en cours de conception. En fait, on peut inclure dans le dispositif technique des éléments qui constituent de véritables aides à la planification de l'action.

- d'une part, on peut fournir à l'opérateur des informations sur l'état de développement de ses "séries d'action". Par exemple, on a constaté que l'opérateur organisait son activité en fonction du nombre de pièces restant à l'alimentation, du nombre de pièces déjà usinées par chaque outil, etc. On peut alors concevoir un dispositif qui contrôle ces paramètres et les fournisse à l'opérateur sous une forme adéquate :

- d'autre part, on peut supprimer certaines butées temporelles ou rigidités structurelles qui contraignent de façon néfaste l'activité. Lorsque ces butées s'accumulent, la gestion du temps partagé devient très difficile. Là aussi, il s'agit d'accorder une marge de liberté supplémentaire à la planification. Par exemple, on a constaté que l'opérateur était contraint de venir se poster devant le contrôle automatique au moment précis où une cote était contrôlée, pour saisir au vol une correction affichée de façon brève. La mise en mémoire de la correction, son affichage éventuel à d'autres endroits de la machine permettraient de soulager l'opérateur de cette contrainte.

* Le rapport entre les sécurités de la machine et les incidents

La machine dispose de sécurités qui empêchent que certains incidents n'aient de conséquences importantes. Cependant, on a montré que l'opérateur se livrait à une surveillance spécifique pour prévenir différents incidents. Une aide peut être apportée en signalant l'évolution de paramètres importants ou l'imminence de l'apparition de certains incidents avant qu'une sécurité n'entre en jeu.

* Le temps masqué

Il arrive assez souvent que l'opérateur des systèmes SAPS paraisse inactif. De ce fait, l'organisateur du travail a tendance à lui confier des tâches supplémentaires pour occuper ces périodes d'inaction apparente. L'analyse du cours d'action amène à revoir ce concept de "temps masqué". Elle montre que, pendant le fonctionnement automatique, l'opérateur a une activité de surveillance indispensable à la bonne marche de la machine, qu'il est parfois dans l'attente d'un événement très précis (passage au contrôle automatique, fin d'un sous-programme). Ces périodes ne peuvent donc pas être considérées comme des temps morts. En outre, l'analyse du travail en temps partagé permet de prévoir les difficultés éventuelles auxquelles peut conduire l'introduction de nouvelles tâches.

* Le suivi de fonctionnement

Le traitement quotidien des incidents et des déréglements permet à l'opérateur d'acquérir une connaisance inégalée du fonctionnement réel de la machine. Cette connaissance pourrait être utilisée pour modifier le dispositif, améliorer son fonctionnement et réduire les incidents dont on déplore justement le coût. On pourrait encore utiliser ces savoirs pragmatiques pour alimenter les réflexions sur la conception de nouveaux SAPS.

Il s'agit donc d'attribuer à l'opérateur une fonction réelle de suivi de fonctionnement, qui permette un dialogue efficace avec le service de maintenance, voire avec le bureau des méthodes. Ceci exige de prévoir le temps nécessaire à la réalisation de ce suivi. Il faudrait aussi améliorer les moyens permettant une saisie plus complète des caractéristiques des incidents.

* L'aide pour les périodes de pointe

A certains moments, le nombre de "séries d'actions" à mener en parallèle est trop important. La présence d'un autre

opérateur est alors nécessaire pour éviter une surcharge de travail et des erreurs éventuellement coûteuses. D'après l'analyse du cours d'action, ces périodes de pointe se situent dans des conditions précises : redémarrage, fabrication de types de pièces particuliers, travail sur un matériau brut défectueux ou spécial. Ces conditions difficiles, qui provoquent incidents et déréglements doivent être précisément repérées pour prévoir les effectifs nécessaires.

* L'aménagement de l'espace

L'analyse des cours d'action permet, en outre, de préciser certaines questions classiques de l'aménagement ergonomique du travail industriel, qui se posent pour les situations etudiées :

- perturbation de la surveillance par le niveau sonore dû aux machines voisines
- visibilité de l'usinage
- accessibilité des différentes zones
- éclairage à l'intérieur de la machine

* La formation et la documentation

Une partie du contenu de la formation et de la documentation peut être spécifié à partir de l'analyse des cours d'action de conduite.

Par manque de moyens pour définir le savoir nécessaire, on a considéré celui-ci, au sein de l'entreprise, comme un savoir informel et implicite. La formation a consisté essentiellement en une transmission informelle, sur le tas, entre l'opérateur ancien ayant le niveau de technicien et l'opérateur nouveau ayant le niveau du C.A.P.

De l'analyse du cours d'action, nous tirons plusieurs indications pour la mise en forme de ce savoir. On en tire ainsi des recommandations pour la formation et la documentation :

- aider le travail en temps partagé, en précisant les critères ou les principes qui interviennent dans les décisions de partage entre les différentes séquences. Ces critères portent sur la cohérence de l'action (interruption et reprise d'une séquence, effort de mémorisation...), sur les risques du partage ou du non-partage (incidents possibles ou déréglements conduisant à une baisse de la qualité du produit), et sur l'économie de temps

- aider à la connaissance des cours d'action types : la formalisation de séquences types permet d'enseigner la dynamique temporelle d'une action et des événements qui en résultent, et non une "procédure" théorique

- articuler les connaissances fournies sur le fonctionnement de la machine avec les actions qui sont en relation avec chaque aspect du fonctionnement

- fournir des informations sur l'utilisation mécanique de la pièce usinée, en relation avec les précautions particulières d'usinage de certaines cotes que cette utilisation implique.

Enfin, un mode particulier de formation peut s'inspirer de la méthode du cours d'action. Ainsi, pour transmettre des modèles de cours d'action types, on pourrait présenter aux futurs opérateurs des séquences d'actions d'opérateurs "experts" enregistrées au magnétoscope. Les apprentis pourraient ainsi observer et analyser l'activité, en ayant la latitude de faire repasser plusieurs fois des passages critiques. Le commentaire oral des opérateurs expérimentés favorisera des repérages corrects et la transmission d'un vocabulaire commun permettant aux apprentis de nommer rapidement les situations et actions essentielles. Cette proposition peut être mise en relation avec celles de Feuerstein (1980), concernant l'apprentissage cognitif.

4. UTILISATION POUR LA PREVISION DE L'ACTIVITE FUTURE

La description de la structure des cours d'action dans les situations de référence est, nous l'avons dit, la base indispensable d'une anticipation empirique de l'activité future.

Nous donnerons maintenant l'exemple de la conception de la présentation de l'information sur les écrans de la salle de contrôle d'une usine chimique (Boël et coll., 1985) modifications du procédé de fabrication étaient introduites. simultanément à la mise en place d'un système numérique de contrôle et de commande. La question qui était posée aux ergonomistes était la répartition des paramètres entre les différentes pages d'écran.

L'analyse de l'activité des opérateurs dans une situation voisine (Boël et coll., 1984) avait montré que leurs actions n'étaient pas organisées suivant le découpage de l'installation en appareils. Au contraire, les unités organisatrices de l'action étaient des "manoeuvres" qui portaient sur la dynamique d'évolution de l'état de plusieurs appareils. La même étude avait mis en évidence l'intrication temporelle de différentes manoeuvres.

Aussi. quand il s'est agi de concevoir la répartition de l'information sur les pages d'écran de la salle de contrôle, les ergonomistes ont-ils fait une double proposition :
- concevoir une page écran pour chaque manoeuvre (et non pour chaque appareil)
- favoriser le suivi simultané de plusieurs incidents.

La difficulté provenait du changement de procédé de fabrication, qui rendait difficile le recensement des familles pertinentes de manoeuvres à prendre en compte. Ce recensement a reposé sur une confrontation des connaissances des opérateurs. des concepteurs et des ergonomistes. Le fonctionnement théorique prévu par les concepteurs était

discuté à partir de la connaissance que les opérateurs possédaient sur les variabilités des matières premières, des appareils, des sources d'énergie etc. Il était également confronté aux caractéristiques de l'activité mises en évidence par les ergonomistes dans les situations de référence.

A la suite de cette confrontation, une liste des familles de manoeuvres a été établie à partir du critère suivant : pour les différentes manoeuvres de chaque "famille", les paramètres et commandes qui apparaissaient significatifs pour l'action étaient approximativement les mêmes. Une première version des pages d'écran a donc été élaborée. en respectant des recommandations ergonomiques habituelles sur la présentation de l'information, et d'autres. plus spécifiques, portant sur le suivi simultané de plusieurs incidents (redondance de certaines indications).

Une deuxième phase a consisté à évaluer les pages d'écran ainsi conçues. en cherchant à anticiper le déroulement temporel de certaines manoeuvres. Les pages d'écran n'existaient alors que sur le papier. Les ergonomistes ont demandé à des groupes d'opérateurs de décrire sur ces maquettes l'activité qu'ils mettraient en oeuvre pour effectuer certaines manoeuvres (démarrage de l'installation, traitement d'incident de processus, de pannes d'appareils...), et quelques combinaisons vraisemblables de manoeuvres survenant simultanément. A partir de cette anticipation, des corrections ont été apportées aux pages d'écran avant leur réalisation.

L'évaluation de la démarche a mis en évidence les résultats suivants :

- le démarrage de la nouvelle installation s'est déroulé de façon inhabituellement rapide, le fonctionnement nominal a été atteint en quelques jours sans incident

- ce résultat semble pouvoir être attribué. dans une faible mesure aux qualités intrinsèques du dispositif de présentation de l'information, et dans une mesure beaucoup plus importante, à la maîtrise du futur système que les opérateurs avaient acquise en participant ainsi à la conception de ce dispositif. Les groupes de travail mis en place pour concevoir les pages d'écran apparaissent ainsi comme une contribution essentielle à la formation des opérateurs.

- il semble que,compte tenu des performances ainsi atteintes, de nouvelles tâches ont été assignées aux opérateurs, sans qu'une démarche ergonomique soit à nouveau mise en oeuvre. On peut. comme ci-dessus à propos du "temps masqué", s'interroger sur les conséquences de cette décision sur la charge de travail des opérateurs.

5. CONCLUSIONS

Les exemples qui viennent d'être présentés montrent la relation extrêmement forte qui existe entre deux axes de développement actuels en ergonomie :

- d'un côté, l'ergonomie développe des modèles de plus en plus précis de l'activité de l'homme en situation professionnelle

- de l'autre, elle s'engage dans les processus de conception de systèmes techniques de plus en plus complexes.

Ces deux orientations doivent rester très précisément liées, et faire l'objet de progrès simultanés. D'une part, de multiples modalités de description de l'activité humaine de travail sont possibles. L'ergonomie ne peut retenir que celles qui permettent l'intervention la plus efficace sur la conception de moyens de travail performants et favorables à la santé. D'autre part, lorsqu'elle intervient dans la conception de systèmes complexes par exemple en matière d'intelligence artificielle, l'ergonomie court en permanence le risque de perdre sa légitimité si

elle abandonne des références précises au fonctionnement de l'homme et à l'activité réelle de travail.

Le lien que nous venons de développer entre l'analyse des structures de l'action des opérateurs, et la prévision de l'activité future au cours de la conception est un exemple de cette double direction de recherche.

References

BOEL, M., DANIELLOU, F., 1984
Elements of process control operators' reasoning: activity planning and system and process response times, pp 1-8 in Whitfield D., (Ed.), Ergonomics Problems in Process Operation, Pergamon Press, Oxford

BOEL, M., DANIELLOU, F., DESMARES, E., TEIGER, C., 1985
Process Control Room Design
Real Work Analysis and Operators' Involvement
9th IEA Congress, Bournemouth

DANIELLOU, F., 1988
Ergonomie et démarche de conception dans les industries de processus continu: quelques étapes-clé.
To be published in Le Travail Humain

FAVERGE, J.M., 1970
L'Homme, agent de fiabilité et d'infiabilité du processus industriel
Ergonomics 13, 3, 301-329

FEUERSTEIN, R., 1980
Instrumental Enrichment
University Park Press, Baltimore

GUERIN, F., DROIT, S., SAILLY, M., 1986
Les métiers du conditionnement: de la conduite d'une machine à la maîtrise d'un système. Report No. 85.
Coll. Ergonomie et Neurophysiologie du Travail, CNAM, Paris

MONTMOLLIN, M., de, 1974
L'analyse du travail, préalable à la formation, 121 p., Armand Colin pub., Paris

OMBREDANE, A., FAVERGE, J.M., 1955
L'Analyse du travail, 235 p., PUF pub., Paris

PINSKY, L., THEUREAU J., 1987
L'Etude du cours d'action, Report N° 88
Coll. Ergonomie et Neurophysiologie du Travail,
CNAM, Paris

THEUREAU, J., PINSKY, L., 1984
Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique
La Revue des Conditions de Travail, No. 9, 25-31

WISNER A., 1987
La nouvelle usine en pays en développement industriel: transfer ou nouvelle conception.
XXIII° Congrès de la SELF, Liège.
To be published.

WISNER, A., 1988
Le travailleur face aux systèmes complexes et dangereux
To be published in Travail et Nouvelles Technologies, Institute du Travail ed., Lyon

WISNER, A., DANIELLOU, F., 1984
Operation Rate of Robotized Systems: the contribution of ergonomic work analysis.
pp. 461-465. in HENDRICKS, H.W., BROWN, O. Jr., Human Factors in Organizational Design and Management, Elsevier Science Publishers, B.V. Amsterdam

WISNER, A. DANIELLOU, F., DEJOURS, C., 1985
Uncertainty and Anxiety in Continuous Process Industries; pp. 39-51 in NORO, K., Occupational Health in Automated Factory, Taylor and Francis, pub., London.

LA SURVEILLANCE ET LA MAITRISE DES PROCESSUS : CONCEPTION DES SYSTEMES TECHNIQUES ET DE L'ORGANISATION

FORMATION DES OPERATEURS

Texte d'un rapport présenté en anglais à Oulu (Finlande) en Juin 1988 dans le cadre de la 3ème Conférence /FAC/IFIP/IEA/IFORS sur "Man Machine Systems".
Les contributions de J. Theureau et L. Pinsky d'une part, et de F. Daniellou ont été déterminantes pour la rédaction de ce texte.

La maîtrise insuffisante des processus complexes des industries nucleaire. chimique. alimentaire. mécanique. constitue un problème majeur de l'économie contemporaine. Le taux d'engagement des systèmes robotisés est trop souvent mediocre (Wisner et Daniellou. 1984). L'incertitude et l'anxiété règnent trop souvent dans les salles de contrôle des industries de processus (Wisner. Daniellou. Dejours. 1986). Eventuellement. des catastrophes se produisent. comme à Three Mile Island. Bhopal. Tchernobyl. Cap Kennedy (Wisner. 1988).

Dans la littérature technique et ergonomique, ces phénomènes redoutables ont été étudiés longtemps selon 2 grandes catégories : le facteur technique et le facteur humain. Ces 2 catégories ont été reprises dans les études sur la fiabilité technique et humaine. En fait. le concept de fiabilité humaine est aussi décevant que celui de facteur humain. car il présuppose que, dans la relation entre le dispositif technique et les opérateurs, les 2 composantes. le dispositif technique et les opérateurs sont ou doivent être stables. Or l'étude fine du fonctionnement normal d'un processus montre son instabilité et les multiples causes de celle-ci. L'importance du fonctionnement en mode dégradé est considérable. Les opérateurs eux-mêmes changent. Les équipes de travail n'ont pas toujours la même composition. les degrés de savoir et d'expérience de leurs membres ne sont pas identiques. les modalités réelles de communication avec la hiérarchie varient d'une équipe à l'autre. d'une période du nycthémère à l'autre.

Dans ces conditions, exiger des opérateurs qu'ils suivent exactement des protocoles précis, fixes, constitue une attitude irréaliste, et attribuer à l'"infiabilité des opérateurs" les écarts au travail prescrit, ne permet que de trouver un bouc émissaire.

L'analyse du travail réel - le seul travail - permet d'approcher les, véritables conditions de fonctionnement du système, et de comprendre, de critiquer, et d'améliorer les situations dans lesquelles les opérateurs agissent (conception des systèmes techniques et de l'organisation), et leurs savoirs et représentations (formation des opérateurs).

Ces propositions ne sont pas récentes (Ombredane et Faverge 1955, Faverge 1970, Montmollin 1974). Elles sont cependant soumises à l'épreuve d'une nouvelle réalité industrielle : le changement technologique rapide dans toutes les branches. Comment mettre en oeuvre l'analyse du travail réel, alors que les moyens de travail n'existent pas encore ? Comment anticiper les difficultés qui risquent de surgir du fait d'une "inadaptation" des moyens de travail aux buts réellement poursuivis par les opérateurs ? On est ainsi en présence d'un véritable paradoxe de l'ergonomie de conception (Theureau et Pinsky, 1984) : pour dire quelque chose de réellement fondé sur une situation de travail, faut-il attendre qu'elle soit complétement conçue et réalisée, au risque de ne plus pouvoir intervenir sur la conception ?

Deux progrès conceptuels récents permettent de sortir de ce paradoxe : l'introduction du "cours d'action" comme objet essentiel de l'analyse du travail ; et la notion d'"activité future probable" au coeur de la réflexion sur l'intervention de l'ergonomie dans la conception. Dans ce qui suit, nous tenterons de préciser ces objets théoriques, et les méthodes que leur etude et leur mise en oeuvre supposent.

1. L'ETUDE DU COURS D'ACTION

1.1 Le cours d'action

Le cours d'action (Pinsky et Theureau, 1987) est défini comme un comportement conscient (au moins en partie), intentionnel, planifié, socialement contrôlé (ou dirigé), et significatif pour l'opérateur en situation de travail. La notion de cours d'action partage avec celle de "conduite", habituelle en psychologie, l'hypothèse de l'organisation finalisée du comportement, mais elle se limite - dans un but d'approfondissement des études en situation réelle de travail - au comportement significatif pour l'opérateur.

Etudier le cours d'action, c'est chercher à l'expliquer afin d'aménager ses déterminants. Il s'agit de relier, à travers des hypothèses et modèles explicatifs, trois descriptions :

- une description intrinsèque de la dynamique du cours d'action :
- une description de la dynamique du processus et du système technico-organisationnel :
- une description de la dynamique de l'état de l'opérateur.

Ces trois descriptions visent à répondre à cette exigence argumentée plus haut : rendre compte de l'instable.

De plus, l'accent est mis pour des raisons théoriques et épistémologiques sur la description intrinsèque de la dynamique du cours d'action (relativement à laquelle les deux autres descriptions peuvent être qualifiées d'extrinsèques).

Elle rend compte des relations dynamiques entre trois sous-objets, la signification pour l'action, la cognition pour l'action et l'action manifeste :

- la signification pour l'action : des événements qui surviennent sur un dispositif technique prennent sens pour l'opérateur car ils s'inscrivent dans une histoire, qui inclut le présent de l'opérateur et de l'installation, mais

aussi les actions qu'il a effectuées auparavant, celles qu'il s'apprête à accomplir et les événements qui peuvent en découler :

- la cognition pour l'action : il s'agit de décrire la mise en oeuvre des chaînes d'interprétation, des processus décisionnels par lesquels l'action est produite par l'opérateur :

- l'action manifeste, c'est-à-dire le comportement comme suite de gestes d'action, de prise d'informations, de communications, significatifs pour l'opérateur.

La caractéristique intrinsèque de l'étude du cours d'action est essentielle car elle souligne le fait qu'on ne la construit pas à partir d'une description de la "tâche", c'est-à-dire des contraintes auxquelles doit répondre l'opérateur. Ces contraintes sont connues à partir d'une analyse du fonctionnement du dispositif, des consignes données, etc ... Cette dernière analyse peut être appelée extrinsèque, elle correspond à la description du travail par le service des méthodes.

Les méthodes habituelles d'analyse du travail tendent aussi à saisir l'activité du travailleur, mais en étudiant les écarts constatés entre ce que fait l'opérateur et la description extrinsèque de la tâche. En fait, d 'autres éléments doivent entrer dans la description de la situation : la situation de travail et l'état de l'opérateur. Par exemple, un même dispositif n'offre pas la même situation extrinsèque selon qu'il est dans un état stable ou qu'il se situe dans l'attente d'un ajustement de ses réglages ou dans la période qui suit un changement de matériau. De même, l'état de l'opérateur connaît des variations importantes qui sont extrinsèques au cours d'action : niveau d'apprentissage, importance du manque de sommeil, par exemple. Il s'agit, en l'occurence, de descriptions complémentaires à celle de la tâche. Elles sont, comme la tâche, extrinsèques au cours d'action, mais d'autant plus nécessaires que la situation de travail et l'état de l'opérateur sont, comme le dispositif technique, des conditions extrinsèques que l'on cherche à améliorer à partir de l'analyse du cours d'action.

1.2. Les méthodes d'analyse

Pour pouvoir rendre compte du cours d'action d'un opérateur dans une situation donnée. Il est nécessaire de mettre en oeuvre des méthodes d'observation et d'analyse particulières.

La méthode comporte :

- des observations détaillées de tous les comportements (analyse tendant à l'exhaustivité), y compris l'enregistrement des communications verbales dans le cas d'activités collectives :

- des verbalisations systématiques recueillies auprès des opérateurs selon des règles définies.

Le recours aux verbalisations n'est pas une spécificité de la méthode proposée. L'originalité provient du caractère systématique de leur mise en oeuvre et de leur traitement.
Les verbalisations, pour permettre l'étude des deux sous-objets "signification pour l'action" et "cognition pour l'action", doivent être en rapport direct avec la dynamique du cours d'action à chaque instant, ce qui exclut les formes habituelles d'interview. Selon les situations de travail, ces verbalisations sont simultanées, interruptives ou uniquement en autoconfrontation. La verbalisation en auto-confrontation est, dans tous les cas, nécessaire. On

entend ici par autoconfrontation une verbalisation produite par l'opérateur lorsqu'il est confronté aux données recueillies sur son comportement. et qu'il répond à des questions portant directement sur ces données :

"que faites-vous là ?" : "que voulez-vous dire là ?" : "pourquoi. à la suite de quoi ?" : "pour viser quoi ?".

L'autoconfrontation. contrairement aux deux autres formes de verbalisaton. ne perturbe en rien la dynamique de l'action en cours. Le recueil des verbalisations en autoconfrontation exige des données de comportement suffisamment détaillées et completes pour être significatives pour l'opérateur et pour le mettre dans la situation la plus réaliste possible de réflexion sur son action. D'où l'utilisation de l'enregistrement vidéo de l'activité quand cette technique est possible.

Dans le cas du travail collectif, l'enregistrement des communications verbales remplace avantageusement les verbalisations simultanées puisqu'il permet la description de l'Action manifeste de communication, de la Signification pour l'action et de la Cognition pour l'action.

Après une première analyse de l'ensemble des données. une seconde verbalisation en autoconfrontation comprenant des questions orientées en fonction des premiers résultats peut contribuer à la construction et à la validation du modèle analytique. A ce stade. il est aussi utile de procéder à une "confrontation" de différents techniciens de l'entreprise avec certaines des données recueillies. afin de préciser des éléments de la description de la situation de travail et de définir des propositions d'aménagement ergonomique.

Le recueil de l'ensemble de ces observations, enregistrements des communications et verbalisations, ne peut être realise sans un accord profond des opérateurs et des techniciens. et donc aussi des responsables de l'entreprise. sur les objectifs et les méthodes de recherche. Cet accord nécessite une information préalable et une discussion de la méthodologie avec toutes les personnes concernees. et l'engagement formel de la part de l'équipe de recherche de leur soumettre les matériaux et les résultats avant toute publication.

L'intérêt d'une telle analyse du travail est qu'elle permet d'aborder de façon précise et coordonnée de nombreuses questions de conception, aussi bien celle des dispositifs techniques et des espaces de travail que celle de l'organisation du travail ou de la définition de la formation. Ces dernières sont habituellement négligées au profit d'une approche purement technologique, ou traitées de façon floue.

Il importe de comprendre comment l'étude du cours d'action peut intervenir aux différentes étapes du processus de conception.

2. LA REFLEXION SUR L'ACTIVITE FUTURE DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION

L'apport spécifique de l'ergonomie dans un processus de conception est l'introduction de méthodes visant à anticiper les principales caractéristiques de l'activité réelle des opérateurs, afin de permettre la prise en compte de ces caractéristiques dans la conception des moyens de travail.

Cette réflexion sur l'activité future se heurte à deux difficultés :

- d'une part, l'activité future ne peut être observée. Son organisation dépendra, dans une large mesure, des caractéristiques techniques et organisationnelles retenues pour l'installation en cours de conception. On peut donc seulement chercher à recenser des déterminants de cette activité future :

- d'autre part, si les décisions prises au cours de la conception délimitent progressivement des formes possibles de l'activité future, elles ne déterminent jamais entièrement cette dernière.

Les décisions qui sont prises au cours de la conception construisent donc peu à peu un espace des formes possibles de l'activité future (Daniellou, 1988). L'ergonomiste va porter un pronostic sur celui-ci, en mettant en évidence des

indices d'inadaptation, c'est à dire des caractéristiques des moyens de travail qui contraignent l'activité d'une façon incompatible avec la santé ou la performance.

Le plus souvent, dans ce type de situation, l'ergonomiste apporte le fruit de son expérience accumulée dans des installations industrielles analogues ou dans des expérimentations de laboratoire. Une telle façon d'opérer est étroitement subordonnée aux capacités de l'expert. La démarche proposée tend à être plus systématique, moins personnelle.

Les apports ergonomiques se font tout au long du processus, de façon différenciée. A chaque stade, la prévision de l'activité future est limitée, elle devient de plus en plus précise au fur et à mesure de l'avancée de la conception.

2.1. Le stade de la Programmation

Le stade I est celui de la Programmation, c'est à dire de la définition des objectifs détaillés fixés au Maître d'Oeuvre. Dans cette phase, des analyses du cours d'action dans des situations réelles (situations de référence) permettent de recenser certains déterminants de l'activité future.

Les situations de référence, dont l'analyse est susceptible d'éclairer la conception des futurs moyens de travail, sont diverses. Dans le cas de la "modernisation" d'un atelier ou d'un service existant, il s'agira d'abord, bien entendu, d'effectuer l'analyse des cours d'action dans celui-ci. Il sera ainsi possible de mettre en évidence des déterminants de l'activité, liés à la variabilité des matières premières, des demandes des clients, des dossiers à traiter etc...

Il sera également nécessaire de rechercher des situations où sont utilisés des équipements ou logiciels voisins de ceux qu'il est prévu d'implanter. Ces situations peuvent se trouver dans une autre unité du même site, dans un autre

site du même groupe, ou dans une autre entreprise, par exemple un client du même fournisseur. On aura ainsi employé pour l'Homme des démarches d'esprit très voisines de celles qu'utilise l'ingénieur de conception pour la technologie : extrapolation et analogie.

Plus généralement, on recherchera des situations de référence, susceptibles de révéler des déterminants de l'activité future, liés :

- aux caractéristiques de la future population :
- aux futures matières premières :
- aux futurs produits ou sous-produits :
- aux futures machines ou méthodes ou aux futurs procédés :
- aux relations avec l'amont et l'aval, avec les clients...:
- aux futures sources d'énergie :
- à l'environnement géographique et climatique, et au tissu industriel.

A partir de l'analyse du cours d'action dans les situations de référence, un processus d'abstraction est nécessaire pour dégager des caractéristiques transposables à la future installation. Il s'agira en particulier de repérer :

- des déterminants de l'activité liés à la variabilité des matières et des moyens de travail, et des cours d'action types correspondant au traitement, par les opérateurs, de cette variabilité : en particulier, il sera possible de repérer des périodes critiques dans le fonctionnement de l'atelier ou du service :

- des structures significatives de l'action des opérateurs, qui apparaissent en partie transposables - nous en donnerons un exemple plus loin à propos des automatismes d'ateliers :

- des effets défavorables pour la santé ou la production des modes opératoires que les opérateurs sont amenés à utiliser.

Ces informations permettent l'élaboration de principes ergonomiques de conception, qui sont des guides relatifs aux fonctions attendues du dispositif, aux exigences que celui-ci doit remplir etc. Ces principes servent à la

définition des spécifications générales fixées aux concepteurs.

2.2. Le stade de la conception (stade II)

A partir de ces principes généraux, les concepteurs procèdent à une première définition des futurs moyens de travail. Il s'agit alors pour l'ergonomiste de mettre en oeuvre des méthodes lui permettant de porter un pronostic sur ces solutions, afin de contribuer à l'élaboration de spécifications d'aménagement.

Il lui faut donc construire une anticipation empirique de l'activité future, qui pourra prendre différentes formes. Dans certains cas, il sera possible de procéder à des expérimentations ergonomiques (Theureau et Pinsky, 1984), selon les principes suivants :
- on construit des situations d'expérimentation les plus proches possible de la future situation (les analyses effectuées dans les situations de référence permettent de préciser les conditions de cette "proximité"). Le dispositif servant à l'expérimentation peut être un prototype du futur matériel lorsque la technologie le permet, ou bien des parties du futur dispositif qui peuvent être considérées indépendamment les unes des autres relativement à l'activité de l'opérateur ;
- on analyse le cours d'action d'opérateurs travaillant dans ces situations ;
- on élabore un pronostic de la future situation en tenant compte de l'écart avec la situation d'expérimentation.

Dans d'autres cas (Boël et coll., 1985), il n'est pas possible de disposer de matériel prototype représentatif de la future installation. Une autre forme d'anticipation empirique de l'activité future est proposée (Daniellou, 1988), consistant à réunir des salariés des différentes fonctions concernées, et à leur demander de décrire, sur des plans ou une maquette de la future installation, l'activité qu'ils mettraient en

oeuvre dans certaines situations d'action types. élaborées grâce aux analyses de situations de référence. L'ergonomiste anime ce travail. en s'attachant à une évaluation du caractère vraisemblable des modes opératoires décrits. compte tenu :

- des structures du cours d'action analysées dans les situations de référence :
- des propriétés physiologiques et psychologiques connues de l'être humain :
- des caractéristiques des matériaux et matériels identifiées par les analyses antérieures.

L'une et l'autre forme d'anticipation empirique de l'activité future probable permettent de mettre en relation des indices d'inadaptation des moyens de travail (commmandes manquantes, mal placées, visibilité insuffisante entre zones, logiciels ayant une faible "compétence coopérative". stocks tampons insuffisants. organisation du travail rendant la collaboration difficile avec les difficultés qui risquent d'en résulter pour les opérateurs, et les conséquences prévisibles pour la santé et la production.

Ces procédures permettent d'élaborer des spécifications d'aménagement ergonomique, qui sont plus précises que les spécifications générales fournies au stade I. Toutefois. certaines caractéristiques de la future situation ne peuvent être présentes dans la situation d'expérimentation. La prévision est. de ce fait. entachée d'incertitude. Il est donc nécessaire de réserver des possibilités d'ajustement de la conception du dispositif. et de procéder par itération : la prise en compte. par les concepteurs. de ces spécifications d'aménagement débouche sur de nouvelles solutions techniques et organisationnelles. qui peuvent, à leur tour. être soumises à l'épreuve de la prévision de l'activité future.
La encore, il s'agit de procédés familiers à l'ingénieur de conception : on connaît les difficultés et les adaptations nécessaires quand on passe de l'expérimentation en laboratoire d'un nouveau procédé à son exploitation semi-industrielle puis à la production industrielle.

2.3. La période de mise en route

La période de mise en route (stade III) est d'un grand intérêt. En effet, la situation de travail est constituée, et, comme les opérateurs sont en période d'apprentissage, les difficultés qu'ils rencontrent apparaissent avec plus de vigueur. On sait que ces difficultés, si elles ne reçoivent pas de solution technique, peuvent dans un premier temps sembler surmontées par la formation et l'entraînement, mais réapparaître brutalement en période d'incident, de surcharge, et provoquer des comportements inadéquats.

L'intérêt de l'étude du cours d'action au stade de l'implantation et de la mise en route est la possibilité de modifier encore le dispositif qui n'est pas totalement figé. En effet, au cours du démarrage d'une installation, il y a toujours des modifications techniques à réaliser. Par contre, l'action de l'ergonomiste peut rencontrer alors des difficultés liées aux conditions mêmes du démarrage, qui font que l'ensemble des acteurs sont surtout préoccupés par la mise en route du dispositif nouveau. Par conséquent, une telle analyse doit faire l'objet d'une préparation soigneuse.

2.4. Le stade de l'exploitation

Enfin, au stade IV, celui de l'exploitation (fonctionnement et maintenance), une étude globale en situation réelle de travail, centrée sur l'étude du cours d'action, fournit une base indispensable à une véritable évaluation du dispositif technico-organisationnel.

Elle permet de faire apparaître tout ce qui n'avait pu être prévu au cours des stades antérieurs, ainsi que les évolutions qui ont vu le jour après une période de fonctionnement, tant du côté des opérateurs que de la situation de travail. Cette période d'analyse est particulièrement importante quand les conditions locales sévères conduisent à une certaine dégradation du dispositif (Wisner et coll., 1988).

Cette évaluation contribue à une critique des méthodes mises en oeuvre au cours du projet, et à leur perfectionnement pour les projets suivants.

Elle permet enfin de mettre en évidence des évolutions qui seraient souhaitables, en particulier dans le domaine de l'organisation du travail, et de la circulation de l'information entre les acteurs.

2.5. Remarques

Il est clair que la démarche proposée implique un mode de participation de l'ergonomiste à la conception du dispositif à la fois plus intense et différent de ceux qui sont habituellement recommandés. En effet :

- il s'agit d'un processus itératif d'améliorations successives des caractéristiques du dispositif :

- les aspects concernant l'action des opérateurs doivent être considérés beaucoup plus précocement et même donner lieu à la réalisation de prototypes ou de dispositifs partiels d'essai.

L'efficacité de l'apport de l'analyse du cours d'action, et des anticipations empiriques de l'activité future est ainsi conditionnée par leur prise en compte dans la **structure même du processus de conception** : prévision des différentes étapes, des moyens nécessaires etc. Si aucune modification du processus de conception n'a lieu, les études ergonomiques risquent d'apparaître comme une surcharge insupportable face aux autres contraintes de la conception. Au contraire, si l'intégration de l'analyse ergonomique est pensée dès l'origine, la contribution ergonomique devient un stimulant de la conception.

Compte tenu des échecs graves et répétés des systèmes de production ou des dispositifs complexes de traitement de l'information dans le tertiaire, on ne peut plus se contenter de limiter l'activité ergonomique à quelques

réponses données aux questions posées par les concepteurs aux moments précis où ceux-ci se les posent.

Si des changements dans le processus de conception sont indispensables, il en est de même pour un certain nombre de concepts d'ingénierie. Certains de ces concepts sont directement liés à une représentation plus ou moins implicite de l'activité des opérateurs. Lorsque cette représentation est erronée, il est nécessaire de revoir les concepts de base de l'ingénierie. Par exemple, la conception d'un dispositif technique et organisationnel peut reposer sur l'hypothèse que le contrôle de qualité et la conduite de la machine sont deux tâches indépendantes, alors que l'analyse du cours d'action révèle une intime imbrication de ces deux activités. Cette constatation est l'amorce d'une réponse à la question que pose le nouveau concept "fabriquer la qualité" (Pinsky et coll., 1979, Guérin et coll., 1986).

D'autres concepts d'ingénierie sont inadéquats, parce qu'ils entravent ou rendent plus difficile la prise en compte des spécifications ergonomiques d'aménagement élaborées au cours du processus d'itération. Par exemple, l'absence de modularité d'un dispositif informatique rend très confuse toute modification. Mais, si le découpage du dispositif n'est pas pertinent vis-à-vis de l'activité de l'opérateur, cela bloque aussi les transformations. Considérer l'interface comme la seule partie d'un système informatique qui intervient dans l'activité des opérateurs est un bon exemple d'habitude néfaste et freinant l'évolution positive du système.

Une telle révision de la démarche de conception exige un dialogue entre technologues et ergonomistes, dans le but de définir ensemble les concepts et les méthodes aptes à favoriser une réelle prise en compte des résultats de l'analyse du cours d'action, et, de façon plus générale, des caractéristiques du fonctionnement humain.

3. UN EXEMPLE D'ETUDE DU COURS D'ACTION : L'AMELIORATION DE SYSTEMES AUTOMATISES DE PRODUCTION SEQUENTIELLE (S.A.P.S.).

Les sytèmes automatisés de production séquentielle (S.A.P.S.) ont actuellement un développement considérable. Ils sont très variés, puisqu'ils vont de la machine-outil à commande numérique,aux robots isolés, voire à l'atelier flexible. Ces dispositifs sont rapprochés par des caractéristiques communes, qui les différencient à la fois des systèmes qu'ils remplacent et des systèmes automatisés de production continue (S.A.P.C.), qui dominent depuis longtemps la sidérurgie, les centrales électriques, les raffineries de petrole etc.

De nombreuses publications font état de difficultés dans la conduite de ces SAPS, traduites par des plaintes des opérateurs, et une production en quantité et qualité moindres que celles qui étaient attendues. Elles les attribuent à différents facteurs dans la conception des machines, l'organisation et la formation des opérateurs. Mais ces publications ne se basent sur aucune analyse du travail de conduite. Elles réduisent ainsi ce dernier à une liste de "tâches" que doivent accomplir les opérateurs : mise en route, surveillance, contrôle, maintenance, etc., orientant ainsi vers des aménagements séparés de ces différentes tâches.

L'analyse du travail dans plusieurs SAPS (voir, par exemple, Daniellou 1982), puis la mise en oeuvre de la méthodologie d'étude du cours d'action (Pinsky, Theureau, 1987) permettent une autre description de l'activité d'opérateurs dans de tels systèmes, qui débouche sur des principes de conception.

3.1. L'analyse du travail en temps partagé

L'apport essentiel de ces analyses est de proposer une description du travail en temps partagé effectué par

l'operateur, reposant non pas sur les lieux où celui-ci se trouve, ou sur les fonctionnalités de la machine concernées, mais sur la signification que les actions et les événements présentent pour l'opérateur.

- La description du travail en temps partagé en termes de lieux n'est pas pertinente, puisque une "séquence continue d'actions" peut être réalisée en différents lieux opérationnels (par exemple dans les systèmes robotisés complexes);
- La description en termes d'exigences du processus technique est insuffisante. Tout d'abord, on ne déduit pas directement de telles exigences l'organisation de l'action permettant de les remplir; une même exigence peut être satisfaite par des organisations différentes. En outre, certaines "structures d'action" répondent à des critères propres à l'opérateur et ne répondent pas directement à une exigence du processus technique.

On peut ainsi saisir le processus de décision qui aboutit à une intervention, et qui tient compte de la dimension temporelle des événements et de leur contexte. On est alors amené à ne pas isoler le diagnostic et le traitement des incidents du reste de la conduite de la machine, et à mettre en cause la séparation classique entre le diagnostic et l'intervention. Ainsi, le diagnostic se fait en intervenant.

Cette approche permet de classer les cours d'actions observés suivant des cours d'action types, qui seront d'une grande utilité pour la démarche de conception. En particulier, il est possible de mettre en évidence des catégories d'événements ayant des significations bien distinctes pour l'opérateur :

- evenements de fonctionnement, résultats attendus d'actions passees :

- événements-incidents, réactions inattendues du système à une action de l'opérateur, ou marques d'un fonctionnement anormal :
- événements-déréglements signalant à l'opérateur une détérioration de la qualité de l'usinage
- événements-pannes qui donnent lieu à un arrêt relativement prolongé de la machine.

Ce modèle analytique intègre dans un cadre unique différentes notions figurant dans la littérature en ergonomie et psychologie du travail et concernant la conduite des SAPC (processus continus). Mais il aborde aussi des aspects méconnus de la conduite. On peut ainsi saisir le processus de décision qui conduit à une intervention et qui tient compte de la dimension temporelle des événements et de leur contexte. On est ainsi amené à mettre en cause la séparation classique entre le diagnostic et l'intervention.

3.2. Apport à l'ergonomie des SAPS

De ces analyses du cours d'action, on peut tirer quelques principes ergonomiques utiles :

* la relation entre la conception de l'espace et la surveillance
La surveillance permet à l'opérateur de prévenir des incidents qui vont survenir, et de recueillir les événements qu'il considère significatifs pour guider son action. Pour cela, il faut que les lieux de contrôle et de chargement soient disposés de telle sorte que la surveillance ne s'en trouve pas empêchée (voir aussi Guérin et coll., 1986).
Il apparaît que c'est le concept même de "ligne de fabrication" qui est à revoir, car il ne prend pas suffisamment en compte les exigences de surveillance.

* L'intégration du contrôle à la conduite
Il se dégage de l'analyse que, pour l'opérateur, le contrôle est intégré à la conduite, et comporte une dimension diachronique. Les contrôles automatiques doivent être conçus en fonction de cette caractéristique. Par exemple, l'opérateur a besoin de disposer d'un historique des corrections automatiques et manuelles apportées à chaque outil afin de procéder dans de bonnes conditions au suivi de la fabrication et au réglage de la machine.

LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

EXIGE UNE RECONCEPTION

Ce texte a été présenté par A. Wisner au Xe Congrès de l'Association Internationale d'Ergonomie à Sydney en Août 1988. Il a été publié en Anglais dans les Actes de ce Congrès. Sur ce sujet, J. Abrahao, A. Aw, A. Kerbal, K. Meckassoua, M. Sagar ont soutenu leurs thèses et N. Sahbi a soutenu son mémoire d'ergonomiste.

Le transfert de technologie exige une reconception

Alain WISNER *, Arona AW, Ali KERBAL, Mouldi SAGAR
Groupe d'Anthropotechnologie du Conservatoire National des Arts et Métiers

* Laboratoire d'Ergonomie du Conservatoire National des Arts et Métiers
41 rue Gay-Lussac, 75005 PARIS FRANCE

Mots clés: Transfert de technologie, Reconception industrielle.

INTRODUCTION

Trop d'usines importées dans des pays en développement industriel sont rapidement dégradées. Bien que quelques unes d'entre elles puissent maintenir un niveau décent de production, la qualité est en général basse et le dispositif technique se détériore rapidement. Trois recherches conduites dans des papeteries algériennes (KERBAL,1988), tunisienne et française (SAGAR, 1988) et dans des usines sénégalaises (AW, 1988) montrent comment les mécanismes de la dégradation se produisent, ce que les travailleurs arrivent à faire pour combattre la baisse de production et ce qui peut être fait pour réduire ces phénomènes coûteux.

METHODES

La méthodologie générale a été décrite antérieurement (WISNER, 1976). Elle est en relation avec l'analyse ergonomique du travail (SABHI, 1984) , récemment transformée par Pinsky et Theureau (1987) qui ont développé le concept "d'analyse du cours d'action". Pour comprendre le cours d'action, il est nécessaire d'étudier l'ensemble du comportement (action, observation et communication) et de confronter le travailleur avec son comportement enregistré.

Dans le cas du transfert de technologie, il est intéressant de comparer deux situations, une dans le pays vendeur et l'autre dans le pays acheteur. Quelquefois, la comparaison a lieu dans deux usines installées dans deux régions du même pays (ABRAHAO, 1986).

Pour éviter ou au moins réduire les effets indésirables du transfert incorrect, une méthode générale, maintenant employée pour la conception des systèmes, peut être utilisée: l'anticipation empirique des activités futures probables. Cette anticipation est possible, quand l'ergonomiste est aidé par un groupe de concepteurs, de travailleurs expérimentés, et de chefs d'atellers pendant la période de conception (DANIELLOU, 1988).

ORIGINE DE LA DEGRADATION

Trois domaines d'erreurs ou de négligences peuvent être considérés: l'équipement industriel, l'organisation et la formation.

Trop souvent, des différences géographiques ne sont pas prises en considération pendant la préparation: par exemple une grande quantité d'eau pure ou une alimentation stable en électricité avec des caractéristiques précises sont supposées facilement disponibles partout dans le monde. En fait, l'eau et l'électricité ne sont pas fournies, dans les trois types d'usines étudiés, aux niveaux qualitatifs et quantitatifs considérés implicitement dans la conception du système de production.Des caractéristiques regrettables de l'eau produisent corrosion et abrasion; l'instabilité de l'alimentation électrique provoque le mauvais fonctionnement des systèmes automatisés. Ces points importants ne sont pas les seuls qui demandent une reconception de l'équipement.

Il semble bon marché et efficace de transferer les systèmes d'organisation et de formation en même temps que l'équipement. En fait, l'organisation est la partie qui relie l'équipement et l'environnement (WISNER, 1984). La théorie de la contingence en organisation (ROBBINS, 1983) prédit que si l'environnement est clairement différent l'organisation doit changer. Cette considération est très importante dans les industries de processus que nous avons étudiées. Un bon niveau de communication entre tous les travailleurs qui font marcher ce type d'entreprise, est recommandé par tous les auteurs dans les pays industriels. En fait dans les trois types d'usines cités, les dispositifs techniques de communication étaient habituellement en panne, les compétences des opérateurs étaient méprisées, l'on avait renoncé à un haut niveau de qualité et un type d'organisation autoritaire avait été mis en place. Mais beaucoup de travailleurs, grâce à leurs compétences, avaient établi un système de communication verbale et non-verbale, et avaient plus ou moins compensé les dispositifs techniques défaillants.

Une approche plus réaliste du fonctionnement vrai de l'équipement, de la compétence des travailleurs et des difficultés qu'ils ont à maîtriser peut conduire à une organisation originale et efficace.

La formation est considérée depuis le début du transfert de technologie, comme le domaine principal de l'action nécessaire pour améliorer le fonctionnement des systèmes. Bien que quelques auteurs continuent à douter de la possibilité qu'ont certains groupes ethniques de produire des travailleurs industriels efficaces, ce point de vue restrictif ne semble pas devoir être retenu (Meckassoua 1986). Mais l'analyse du travail doit être utilisée pour décrire à la fois le stade initial et le stade final de formation. Trop souvent le savoir initial des travailleurs acquis dans les conditions les plus diverses (chasse ,pêche. fabrication artisanale) est négligé ou nié (Feuerstein 1980 . Wisner 1988).

L'effet final de la formation est parfois sans rapport avec les difficultés réelles que le travailleur aura à résoudre dans l'usine. Les tâches sont définies par rapport à des opérations théoriques qui n'existent même pas dans le pays vendeur et qui sont donc très loin des problèmes réels d'une usine dégradée. Dans l'une des usines que nous avons étudiées le centre de formation installé à l'interieur de l'usine ignorait complètement l'état de foctionnement des systémes voisins.

Le niveau le plus extrême d'irréalisme apparait parfois pendant le test-run (l'épreuve de fonctionnement), ce test-run est prévu à la fin du contrat qui lie le vendeur à l'acheteur dans le cas des usines clef en main. Pendant les quelques jours du test-run, une eau pure et une electricité stables sont fournies comme cela est exigé, un groupe nombreux d'ingénieurs et d'opérateurs expérimentés sont transportés depuis les départements, de conception, de production et de maintenance du vendeur. Ce test-run aboutit habituellement à un succès dans ces conditions. Mais il n'est pas rare que toute l'usine ou une partie de celle-ci ne puisse fonction- ner à nouveau. Les conditions réelles de l'exploitation apparaissent rapidement et les problèmes de l'inadaptation de l'équipement, de l'organisation et de la formation aux conditions locales doivent être résolus dans les pires conditions. En effet la réalité n'a jamais été étudiée anterieurement. Une anticipation empirique des activités futures probables aurait permis une reconception peut être limitée mais efficace de la technologie transférée.

RECONCEPTION

Dans la plupart des pays en voie de developpement, une conception originale de nouvelles usines n'est pas encore possible du fait du nombre limité d'ingénieurs compétents, bien qu' un pays comme le Brésil a dépassé ce stade dans beaucoup de domaines par exemple celui des distilleries décrit par Abrahao (1986). Mais même à l'interieur de ce pays, des adaptations importantes doivent être réalisées en relation avec les contraintes locales. Certaines parties du dispositif technique doivent être modifiées en fonction des ressources naturelles et industrielles. Les stocks de pièces détachées doivent être adaptés aux conditions locales . L'organisation doit être repensée puisque l'environnement est différent.Pour convenir à la situation réelle d'une usine parfois dégradée, la formation doit être adaptée aux compétences initiales de la main d'oeuvre disponible et au tissu local souvent bien pauvre techniquement.

REFERENCES

- Abrahao J.I. 1986. Organisation du travail, représentation et régulation du système de production. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris
- Aw A. 1988. Compétences des opérateurs et état fonctionnel des systèmes automatisés transférés. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris (à paraître)
- Daniellou F. 1988. Ergonomie de la productique (à paraître)
- Feuerstein R. 1980. Instrumental enrichment. University Park Press pub Baltimore.
- Kerbal A. 1988. La genèse du mode dégradé en milieu industriel. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris.
- Meckassoua K. 1986. Etude comparée des activités de régulation dans le cadre d'un transfert de technologie. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris.
- Pinsky L., Theureau J. 1987. L'étude du cours d'action. Analyse du travail et conception ergonomique. Lab. Ergonomie C.N.A.M. pub Paris.
- Robbins S. 1983. Organization theory : the structure and design of organizations Prentice Hall pub Englewood Cliff
- Sagar M. 1988. La gestion du mode dégradé dans une papeterie tunisienne. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris.
- Sahbi N. 1984. Anthropometric measurement and work analysis of modern technology in the Tunisian phosphate mines, in Shahnavaz H., Babri M. Ergonomics in developing countries C.E.D.C. Lulea University Press, Sweden.
- Wisner A. 1976. Ergonomics in the engineering of a factory for exportation VIth IEA Congress Maryland in Ergonomics and Anthropotechnology Lab. Ergonomie C.N.A.M. Paris.
- Wisner A. 1984. Organization transfer toward industrially developing countries in Hendrick H.W., Brown O. Human factors in organizational design Elzevier pub Amsterdam.
- Wisner A. 1988. La nouvelle usine en pays en développement industriel. Transfert ou nouvelle conception in Actes du XXIVe Congrès d'Ergonomie de Langue Française, Liège.

MAITRISE, FONCTIONNEMENT SATISFAISANT OU MODE DEGRADE DE LA TECHNOLOGIE TRANSFEREE

Ce texte a été présenté par A. Wisner au II Congrès de la Société d'Ergonomie du Sud-Est Asiatique (SEAES) à Bali en Avril 1988. Il a été publié en anglais dans le recueil des textes de ce Congrès.
C. Rubio soutiendra en Décembre 1989 sa thèse sur ce sujet et a apporté à ce texte une contribution importante.

Le transfert de technologie est un processus ancien et universel, mais il a pris une grande importance depuis quelques dizaines d'années. Cette importance apparaît d'autant plus nettement que l'on y inclut à côté des machines les manuels d'utilisation et de maintenance, les systèmes d'organisation, les programmes de formation, le savoir des experts.

La forme habituelle du transfert ne prévoit que fort peu d'adaptations aux conditions concrètes d'utilisation dans le pays acheteur. Malheureusement, les variations de tension ou les pannes du courant électrique, l'insuffisance de la quantité et de la qualité de l'eau (salée, sableuse, calcaire, etc ...), la médiocrité des systèmes de transports et de télécommunications, l'insuffisance des cadres, techniciens et ouvriers compétents, créent des situations où le dispositif technique ne fonctionne pas ou fonctionne de façon anormale : c'est le <u>mode dégradé.</u> On a montré (Wisner et coll., 1988) que, dans ce cas, la quantité de production prévue peut être atteinte avec un certain délai après la livraison, mais que la qualité est trop souvent désastreuse permettant à peine une utilisation locale des produits. Par ailleurs, le système technique transféré comporte de nombreux éléments (contrôles, automatismes, alertes, etc ...) qui sont très vite perçus comme inutiles dans ces conditions défavo-

rables du fonctionnement : c'est l'atrophie du dispositif technique (Kerbal, 1989). Les activités des opérateurs, parfois très importantes dans le domaine des communications et de la régulation ne suffisent pas à compenser la défaillance des automatismes (SAGAR, 1989).

A l'opposé, on trouve dans des pays ou des régions où le tissu industriel est plus riche et plus dense, des situations où préalablement au transfert, les difficultés relatives aux conditions locales ont été systématiquement étudiées. Des solutions plus ou moins efficaces, plus ou moins coûteuses ont été élaborées et mises en oeuvre de telle sorte que le dispositif technique transféré fonctionne de façon satisfaisante en quantité et en qualité. Ces conditions de fonctionnement efficace sont parfois le résultat de développements originaux de la technologie initiale, développements qui pourraient eux-mêmes faire l'objet d'un transfert. C'est ce que l'on constate, par exemple, pour la filière française de production d'électricité dans des centrales nucléaires. En effet, la technologie d'origine en est américaine, mais les transformations importantes subies en France par cette technologie a donné naissance à des centrales originales et qui sont exportées. On peut rapprocher cette situation de maîtrise de la technologie de celle qu'a analysée C. Rubio (1989) dans les téléphones philippins utilisant l'ancienne technologie des relais électro-mécaniques. Tout y est devenu progressivement philippin, y compris la fabrication des pièces détachées selon des modalités originales. Des dispositifs techniques, en particulier des appareils de mesure, sont modifiés ou remplacés par des appareils de conception philippine. On entend donc par maîtrise de la technologie importée, le fait que l'entreprise acheteuse est en état de trouver des solutions nouvelles pour développer et améliorer la production.

Dans d'autres cas, intermédiaires à la situation de maîtrise et à celle de dégradation, on trouve un état de fonctionnement satisfaisant conforme aux conditions du contrat de vente. Il arrive que la conformité de fonctionnement du système soit très

grande comme pour le métro de Rio utilisant une technologie très voisine de celle du métro de Paris. Dos Santos (1985)montre, dans ce cas, que les patterns des fixations visuelles des opérateurs de la salle de contrôle sont analogues à Rio et à Paris. Malheureusement, on peut trouver dans le même transfert de technologie des aspects plus défavorables liés à l'insuffisance de transfert des savoirs dans le domaine de la maintenance et à la rotation du personnel compétent attiré par des salaires plus élevés hors de l'entreprise qui a assuré la formation. On observe aussi, dans ce cas, une inadéquation du stock de pièces détachées au type de pannes observées localement. On note également de grandes difficultés pour résoudre les problèmes rares et graves qui peuvent se produire après un certain temps d'usage.
Cela explique sans doute le fait si souvent observé d'une dégradation progressive d'un système qui fonctionnait au début de façon acceptable. On peut en trouver un exemple extrême dans la situation de "test run" où un résultat satisfaisant est obtenu le jour de l'inauguration comme dans une usine chimique du Sénégal (AW, 1989) grâce à des conditions exceptionnelles : alimentation stable en électricité, qualité excellente de l'eau, présence d'une délégation importante du pays vendeur où des personnes expérimentées du bureau d'études, de la fabrication et de la maintenance utilisant un savoir-faire qui ne sera jamais transmis au pays acheteur.

Ainsi, la situation de <u>fonctionnement satisfaisant</u> est par nature très instable quand elle n'est pas le résultat d'une <u>saisie active</u> de la technologie par les membres de l'entreprise acheteuse, par la <u>maîtrise</u> du procédé. Toutefois, comme le montre C. Rubio (1989) dans la phase de technologie moderne électronique que connaissent maintenant les téléphones philippins, il arrive que le contrat d'achat limite de façon étroite, l'expression de la maîtrise des acheteurs. Dans ce cas, il est, par exemple, interdit de modifier les logiciels même si la situation l'exige sauf si ces changements sont "transparents". Les réparations de

l'équipement sous garantie sont réalisées par une firme qui dépend du vendeur. La maintenance est fournie par le vendeur à la demande de l'acheteur. Bien qu'il n'y ait pas d'obligation d'acheter les pièces détachées au vendeur ni de lui faire réparer l'équipement après la période de garantie, la situation réelle nécessite un soutien continu du vendeur pour certaines exigences inéluctables comme la fourniture de pièces détachées spéciales, la consultation des spécialistes du vendeur pour les modifications importantes et complexes du logiciel et pour beaucoup de réparations du matériel.

Toutefois, on assiste à une progression lente mais continue des activités assurées par l'acheteur du fait des progrès professionnels de son personnel et de l'accroissement des compétences scientifiques aux Philippines.

L'analyse ergonomique du travail sous la forme moderne de l'étude du cours d'action dans le cadre des contraintes pragmatiques locales, constitue un moyen puissant pour situer chaque entreprise ou partie d'entreprise sur le continuum qui va de la dégradation à la maîtrise et pour faire progresser l'entreprise selon cet axe.

REFERENCES

- Aw A. (1989) Compétences des opérateurs et état fonctionnel des systèmes automatisés transférés. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris (à paraître)

- Kerbal A. (1989) La genèse du mode dégradé en milieu industriel. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M. Paris

- Rubio C. (1989) La maîtrise d'une nouvelle technologie : le téléphone électronique aux Philippines. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M., Paris

- Sagar M. (1989) La gestion du mode dégradé dans une papeterie tunisienne. Th. Doct Ergonomie C.N.A.M., Paris.

- Santos dos N. (1985) Analyse ergonomique du travail des opérateurs de conduite dans une salle de contrôle du trafic d'une ligne de métro. Th. Doct Ingénieur C.N.A.M., Paris.

- Wisner A., Aw A., Kerbal A., Sagar M. (1988). Transfer of technology needs redesign Xth IEA Congress Sydney Australia.

ERGONOMIE ET PSYCHOPATHOLOGIE DU TRAVAIL

Ce texte constitue une contribution aux Journées de Psychologie du Travail, Ergonomie et Psychopathologie du Travail du CNRS (Paris, Juin 1989) et a été publié dans le recueil des contributions de ces journées. Une version modifiée est publiée en anglais dans le n° 7, Vol. 32, 1989, d'Ergonomics sous le titre Fatigue and human reliability revisited : in the light of ergonomics and work psychopathology.

La description, l'analyse et la transformation de nombreuses situations de travail nécessitent les savoirs conjoints de l'ergonomie et de la psychopathologie du travail (Dessors et Laville, 1985). On en verra plus loin des exemples dans deux domaines importants : la charge de travail et la sûreté des installations. Toutefois, ces convergences pratiques remarquables ne doivent pas masquer les différences considérables qui séparent actuellement ces deux approches de l'homme au travail dans leurs finalités, leurs modèles théoriques et leurs méthodologies.
La contradiction entre un objet commun : l'homme au travail et des approches très différentes, est banale dans toute approche pluridisciplinaire. Cette contradiction peut d'ailleurs donner lieu très aisément à une exclusion mutuelle, à un totalitarisme intellectuel qui n'ont pas manqué d'apparaître dans les années soixante entre une ergonomie très marquée par le behaviorisme et une psychopathologie pour laquelle le travail n'aurait été qu'un théatre parmi d'autres pour jouer le drame psychanalytique.
La période actuelle est plus favorable en France à une réflexion sereine et éventuellement à un travail en commun entre ergonomie et psychopathologie du travail, comme en témoignent le colloque national de psychopathologie du travail (Paris, 1984; voir Dejours et coll., 1985) et le séminaire interdisciplinaire de psychopathologie du travail (Paris, 1985-1987; voir Plaisir et souffrance dans le travail, Dejours, 1987a et 1988).

UN ENVIRONNEMENT SCIENTIFIQUE DIFFICILE

Deux mouvements scientifiques et techniques contingents contribuent peut-être à rendre nécessaire l'approfondissement des relations entre ergonomie et psychopathologie du travail : le développement de l'informatique et celui des neurosciences.

L'informatique propose de façon obsédante un modèle erroné du cerveau humain, celui de l'ordinateur. Il s'agit là d'une nouvelle forme de l'animal-machine de Descartes dont on connaît l'influence durable sur l'esprit français, en particulier sur les ingénieurs. En outre, une ruse - involontaire ? - des informaticiens gêne la discussion avec eux. En effet, ils empruntent à la physiologie et la psychologie leur vocabulaire : mémoire, intelligence, réseau neuronal et donnent à ces mots un contenu proprement informatique. Ils considèrent ensuite que le cerveau humain est un mauvais ordinateur puisqu'il ne fonctionne pas du point de vue de la mémoire ou de l'intelligence comme une construction produite par les informaticiens.
L'analyse ergonomique du travail montre qu'en fait l'homme tient compte de beaucoup de choses au cours de l'exécution d'une tâche apparemment simple. Ainsi s'expliquent les échecs ou les difficultés d'informatisation de ces tâches. Ce qui a été négligé c'est ce que l'homme fait en dehors de la tâche prescrite : on n'a pas informatisé le travail réel. Ainsi, l'analyse ergonomique du travail s'intéresse-t-elle à toute l'activité de travail, elle ne néglige pas ce qui, dans l'activité, ne concerne pas la tâche prescrite et que l'informaticien jetterait volontiers. Ce qui est trop souvent négligé dans la conception du système automatisé, ce sont à la fois certaines activités cognitives (intellectuelles), et les phénomènes psychiques habituels qui peuvent éventuellement devenir pathologiques.

Les ergonomes partisans de l'analyse ergonomique du travail et les psychopathologues du travail ont en commun leur rôle de témoins du fait que l'homme appartient au règne animal.
Le savoir que l'on a sur l'homme provient des sciences de la nature même si la vie des sociétés conduit à une grande diversité de l'usage de leurs corps pour les êtres humains. En face de conceptions commodes qui représentent l'homme comme une machine très perfectionnée, qui serait parfaitement connaissable comme par son constructeur, il est indispensable de rappeler le fait que l'homme n'est connaissable que par des expériences et des observations interprétées par des théories.

Mais cette défense des caractères propres de l'homme au travail par rapport aux machines complexes est menacée à son tour par un vaste ensemble scientifique, celui des neurosciences. De grands progrès ont été réalisés dans la biologie des constituants des neurones, en physiologie des neurones et des ensembles neuronaux, en thérapeutique psychiatrique. Beaucoup de spécialistes éminents des neurosciences pensent qu'ils possèdent - au moins potentiellement - la clef de toutes les activités humaines, et ne voient pas la nécessité d'une analyse approfondie des phénomènes cognitifs et psychiques de l'homme en situation réelle, de l'homme au travail. On peut trouver dans l'"Homme Neuronal" de Pierre Changeux (1983) un brillant exposé de ce point de vue où le modèle explicite qui est proposé est celui de la machine de La Mettrie, héritier passionné de Descartes.

La première objection est celle qui est toujours faite au réductionnisme, les parties ne décrivent pas le tout. Le fonctionnement du neurone ne s'explique pas par les propriétés de chacune des molécules qui le composent. Cette assertion, très générale, peut être aisément admise. Ce qui, par contre, est propre à l'ergonomie et à la psychopathologie du travail comme à la psychologie en général, c'est le fait que ces approches ne cherchent pas à connaître les propriétés de l'homme comme le font les Neurosciences, mais à comprendre comment l'homme utilise ses propriétés et cela en fonction d'une histoire, son histoire propre et celle de l'humanité, de la partie de l'humanité à laquelle il appartient. Un très bel exemple de cette approche commune de l'ergonomie et de la psychopathologie du travail est donné par Dejours (1986) à propos de la mémoire. On comprend de mieux en mieux les mécanismes de mise en mémoire des sensations ou de raisonnements dans le cerveau grâce à des études biologiques approfondies, mais on ne peut se passer de la psychologie et, en particulier, des savoirs que couvre la psychopathologie du travail pour comprendre l'oubli de la quasi-totalité de ce qui est senti ou pensé. Une réduction de cette capacité d'oubli est

pathologique. Une représentation de la mémoire humaine qui évoque l'enregistrement intégral est erronée. Elle ne tient pas compte de l'oubli de la plus grande masse des informations, mais aussi de la mise en mémoire élective d'informations ou plutôt de séquences temporo-spatiales d'informations pertinentes à l'activité du travail. Elle ne tient pas compte non plus d'oublis ou de déformations des souvenirs liés à la vie psychique.

LA CHARGE DE TRAVAIL

L'ergonomie possède au moins deux finalités : l'amélioration et le maintien de la santé des travailleurs, et la conception et le fonctionnement satisfaisants du système technique du point de vue de la production et de la sécurité.

Un des 2 premiers livres publiés par l'Ergonomics Research Society (la société d'ergonomie britannique est la plus ancienne des sociétés d'ergonomie) s'intitule FATIGUE (Floyd et Welford, 1953). Telle est en effet l'expression qu'emploient tant de travailleurs pour décrire les effets négatifs du travail sur eux-mêmes et leurs collègues. Les chercheurs ont abandonné l'expression "fatigue" comme trop imprécise et l'ont remplacée par "charge de travail" comme objet d'étude. Dans le domaine de la charge physique, on possédait une vaste littérature décrivant des faits expérimentaux certains, mais souvent peu reliés à la réalité, à la complexité des situations de travail. Certaines activités dures physiquement pouvaient être reliées à des indices de charge élevés, mais sans des plaintes excessives de fatigue. Au contraire, à certains postes, les indices de charge physique étaient à des niveaux modérés alors que les opérateurs se plaignaient d'une grande fatigue. L'étude de certains travaux répétitifs de ce type montre souvent que l'activité cognitive y est intense. C'est le cas des femmes de l'industrie électronique étudiées par Laville et Teiger (1972).
Les recherches expérimentales (Kalsbeek, 1965-1985) montrent qu'il existe pour les activités cognitives des limites précises

et assez étroites au-delà desquelles la surcharge cognitive apparaît. Toutefois, une analogie trop marquée de la charge cognitive avec la charge physique se révèla dangereuse. Beaucoup plus que pour l'activité physique, le rôle de l'expérience antérieure, des savoirs fait varier l'astreinte que subissent des individus divers pour une même contrainte.
Cependant, le développement, dans le tertiaire, d'activités répétitives sur postes de travail informatisés a donné à ces recherches une grande importance sociale en permettant de comprendre par exemple la raison des demandes de limitation de la durée du travail sur écran. La notion de charge cognitive permettait aussi de montrer qu'il n'y a pas d'activités physiques sans activités cognitives, que beaucoup des difficultés du travail physique avaient pour origine la négligence des dimensions cognitives du travail. Ainsi, l'analyse ergonomique du travail est apparue comme indispensable. Sa théorie et sa méthodologie sont approfondies et orientées vers l'étude du cours d'action par Pinsky et Theureau (1987), Pinsky (1988).

La reconnaissance de la charge mentale à côté de la charge physique a fait progresser l'étude de la fatigue au travail. Pourtant, là encore, des discordances apparaissaient entre le sentiment de fatigue et la mesure de la charge physique et de la charge mentale. En fait, la notion de charge "mentale" est ambiguë, elle comprend, certes, la charge cognitive qui vient d'être évoquée, mais aussi ce que Dejours appelle "charge psychique" (1981), puis "souffrance psychique" (1987b).

La souffrance psychique est parfois liée à des aspects du travail familier aux ergonomistes : incertitude sur la perception ou la signification des informations (on peut remonter aux expériences de Pavlov sur le chien), troubles quantitatifs ou qualitatifs du sommeil, liés aux horaires et au contenu du travail, surcharge cognitive dont Kalsbeek (1985) montre qu'elle peut très rapidement s'accompagner de troubles psychiques si elle est excessive. En fait, la souffrance psychique a une étendue beaucoup plus grande. Elle est liée aux divers aspects du psychisme

humain, et, en particulier, à l'angoisse. Elle s'exprime par des comportements, en particulier par la parole, mais aussi par des perturbations neuroendocriniennes et immunologiques qui peuvent provoquer ou favoriser l'apparition de maladies somatiques diverses, dites psychosomatiques. L'élément essentiel pour le praticien du travail, pour l'ergonomie c'est que ces troubles psychiques ou psychosomatiques apparaissent de façon plus fréquentes dans certaines situations de travail (Wisner, 1981). A l'angoisse correspond l'anxiété, la peur liées à l'incertitude des informations et des décisions à prendre dans des situations dangereuses (Wisner et coll., 1986).

On peut aussi mettre en rapport la dépression et les défaillances de la sublimation avec le syndrome d'usure - le sentiment de burn-out - que l'on rencontre en particulier dans les professions sociales (hôpitaux, services sociaux et de l'emploi, enseignement, éducation, formation, etc ...) après un certain temps d'activité et en relation plus ou moins étroite avec des difficultés objectives anciennes ou nouvelles.

Dejours (1987b) propose également une interprétation d'ordre psychique par les accélérations incontrôlables des cadences auxquelles se livrent parfois les ouvriers les plus hostiles aux cadences élevées. Il décrit des "processus compulsifs d'auto-accélération" qui existent même dans les groupes semi-autonomes. En fait, le seul espace libre pour inventer quelque chose est de trouver des procédures qui permettent d'aller plus vite. Auparavant, les ergonomes ne pouvaient proposer comme explication que la volonté d'avoir une période tranquille avant la sortie et le souci de constituer une réserve de temps en cas de difficultés en cours de journée. Ces explications restent toujours valables, mais elles ne rendent pas compte de nombreuses situations et les travailleurs déclarent avoir accéléré "malgré eux".

Enfin, et surtout, Dejours (1985) montre que l'étroite prescription des activités de travail "est une situation structurellement anormale au regard des fondements mêmes du fonctionnement psychique spontané". Le travailleur est alors le siège

d'une "lutte contre le fonctionnement psychique qui exige le recours à un mécanisme pathologique connu en psychopathologie sous le nom de répression ... Cette dernière abolit le désir dans le travail, et même en dehors du travail ... C'est une illustration de ce que l'on décrit sous le nom d'aliénation".

On saisit l'importance et la nouveauté des faits et des interprétations apportés par l'étude de la souffrance psychique du travail et de sa genèse. Mais on voit d'emblée qu'il s'agit d'une approche bien différente de celle de l'ergonomie, de l'étude de la charge physique ou cognitive de travail. La difficulté de mettre en rapport ces 2 points de vue essentiels sur le travail sera envisagée à nouveau plus loin.

LA SURETE DES INSTALLATIONS. L'ergonomie s'intéresse à la santé au travail, mais aussi au bon fonctionnement des systèmes techniques et, en particulier, à leur sûreté. La psychopathologie du travail a cette même préoccupation en partant d'un point de vue bien différent. Il paraît dès maintenant difficile de traiter les questions de sûreté sans une contribution de l'une et l'autre des approches. S'il fallait trouver une raison impérieuse du point de vue économique et financier pour accorder d'importants moyens de recherche et de réalisation à l'ergonomie et à la psychopathologie, il suffirait d'évoquer les conséquences de catastrophes comme Bhopal ou Tchernobyl (Wisner, 1988). On connaît le terrible coût humain de ces deux événements; on sait moins bien que la grande multinationale Union Carbide a failli disparaître après Bhopal, que l'industrie nucléaire mondiale a été frappée par Tchernobyl et que le coût direct pour l'économie soviétique a été considérable.

On parle souvent d'erreur humaine à propos des accidents et, par cette expression,on fait allusion aux erreurs des exécutants. Dans beaucoup de cas, l'erreur humaine est celle des dirigeants économiques et techniques qui construisent, entretiennent et font fonctionner des systèmes très complexes dans l'ignorance des caractéristiques physiques, cognitives et psychiques des per-

sonnes qu'ils emploient. Les dirigeants font confiance à un travail prescrit souvent formalisé dans un règlement et la gestion des systèmes complexes n'est perçue qu'en termes d'applications du règlement ou d'écarts par rapport à celui-ci. Une telle attitude pouvait peut-être être considérée comme une protection pour l'entreprise du point de vue juridique, mais n'a plus de sens quand les enjeux sont la vie de milliers de personnes et la dépendance énergétique d'un pays.

On ne doit plus éluder l'étude du travail réel - le seul travail - des opérateurs et les effets que ce travail a sur leur psychisme. L'ergonomie offre pour cela un outil puissant, l'analyse ergonomique du travail avec, en particulier, l'étude du cours d'action (Pinsky et Theureau, op. cit.), et celle des contraintes pragmatiques. On saisit ainsi pourquoi, dans certaines situations, les opérateurs se trouvent dans une situation inextricable. L'excès des facteurs d'incertitude dépasse les capacités de traitement du cerveau humain et engendre l'anxiété, la peur quand le danger ne peut être combattu (Wisner et coll., 1986). Les opérateurs de la centrale nucléaire de Three Miles Island étaient "bewildered" - affolés - pendant le grave accident qu'ils ne purent maîtriser. Le système de sécurité et de régulation de cette centrale nucléaire était tel que l'on ne pouvait faire de diagnostic et agir efficacement alors que 3 incidents étaient survenus simultanément. Parfois, ce sont les négligences multiples qui mettent une centrale nucléaire dans un grave état de dysfonctionnement comme celle de Pilgrim (Massachussetts). Dans cette centrale, l'anxiété n'a cessé de croître jusqu'à ce que la production soit arrêtée par le National Regulatory Commission (Commission Nationale de Contrôle Nucléaire) des Etats-Unis.
L'anxiété peut dépasser les limites de l'usine pour atteindre la ville voisine comme à Bhopal où les responsables syndicaux avaient, par affiches, prévenu la population plusieurs mois à l'avance de l'éventualité d'une catastrophe. Les opérateurs avaient assisté à l'arrêt des systèmes de sécurité, au départ des cadres et techniciens compétents,à la suppression de la formation

continue, à la réduction massive de la maintenance, à de nombreux incidents qu'ils n'avaient évité que de justesse.

Ainsi, dans beaucoup d'installations essentielles de notre civilisation, les opérateurs ne disposent pas au moment voulu, sous une forme adéquate, des informations claires et pertinentes nécessaires à leurs prises de décisions. Plus grave encore, ils ne disposent pas des moyens de suivre en permanence l'évolution des paramètres critiques et de connaître la situation complète dans laquelle se situe l'incident. Une analyse ergonomique met en évidence ces difficultés, pour peu que cette analyse se fasse dans des conditions correctes. Ce que l'analyse ergonomique ne montre pas, c'est l'anxiété qui se développe dans les situations détériorées car des mécanismes de défense bien décrits par Dejours permettent souvent aux opérateurs de garder leur comportement et leur attitude habituels malgré leurs craintes. Toutefois, cet état psychique aggrave à son tour les situations, et peut donner lieu à des erreurs ou à des oublis dommageables. Il peut se produire également une rupture des défenses au moment critique quand la situation paraît inextricable et le danger croissant. La relation au danger est parfois difficile à expliciter dans des situations beaucoup plus banales que la conduite des centrales nucléaires. Dejours et ses collaborateurs ont montré l'importance de "l'idéologie défensive de métier" qui tend à nier le danger, mais impose également à tous les membres de la collectivité de travail des règles complexes de qualité du travail, de transmission des informations, d'alternance des tâches (Cru, 1987). On ne peut toucher à l'aveugle à ces règles complexes pour les "rationaliser" sans déclencher une rupture des défenses psychiques et menacer la sécurité. Il en est de même pour l'introduction autoritaire de certains moyens individuels de protection pourtant bien étudiés du point de vue ergonomique.

CONVERGENCES ET DIFFERENCES

La psychopathologie du travail telle que Dejours et les membres de l'A.O.C.I.P. la décrivent (Dejours, 1987c), apparaît comme une approche essentielle du travail. Elle possède des bases théoriques, celles de la psychanalyse, mais elle s'intéresse

essentiellement à la souffrance des travailleurs, ou mieux, aux défenses que les personnes mettent en place pour faire face à la souffrance. Du fait que la psychopathologie du travail traite ce qui est subjectif, la psychopathologie du travail a besoin d'une adhésion complète de la collectivité de travail qui demande l'enquête et s'y engage.La psychopathologie du travail ne s'intéresse pas au travail lui-même, mais aux productions psychiques que celui-ci détermine. Ces productions psychiques s'expriment sous forme de commentaires commentés eux-mêmes par l'équipe de recherche selon les règles de l'intersubjectivité. La restitution aux travailleurs des résultats de la recherche ne peut être que très prudente car elle peut aboutir à une redoutable destruction des défenses dont il faut plutôt chercher à modifier la nature et les modalités. Les recommandations aux concepteurs des systèmes de travail restent très générales dans l'état actuel de la psychopathologie du travail qui est celui d'une discipline très jeune et qui est loin d'avoir connu toutes les contradictions et tous les développements que l'on peut attendre.

L'ergonomie n'a pas le même âge et le même passé. Née pendant la 2ème guerre mondiale, elle compte au moins 20.000 spécialistes à travers le monde, ce qui lui donne de la force : de nombreuses revues de bon niveau, des milliers d'ouvrages de référence, mais aussi une certaine hétérogénéité du fait de la multiplicité des approches parfois presqu'opposées. Les bases théoriques de l'ergonomie sont multiples, liées aux disciplines qui contribuent à ses savoirs : anthropométrie physique, biomécanique, domaines divers de la physiologie, branches multiples de la psychologie. On notera que les critères de scientificité de ces disciplines sont essentiellement de type expérimental. Les évidences ainsi produites convainquent aisément les ingénieurs qui sont les principaux utilisateurs de l'ergonomie dans la conception des dispositifs techniques. Toutefois, divers ergonomistes et, en particulier, ceux de l'école française, mettent en

doute la validité des données acquises dans les conditions ultra-simplifiées du laboratoire (voir, par exemple, Wisner, 1972) et ont développé l'analyse ergonomique du travail, la seule approche qui soit propre à l'Ergonomie. Beaucoup d'éléments de la théorie de l'A.E.T. sont communs avec la psychologie cognitive. L'étude du cours d'action a conduit Theureau et Pinsky à considérer l'intérêt d'une anthropologie cognitive du travail où les activités du travail ne sont pas séparées du passé et de l'environnement. On peut noter ici un rapprochement avec la prise en compte du passé psychique des personnes au travail et l'évocation d'une anthropologie du travail par Dejours.

Pour rester dans une approche ergonomique qui ait des analogies avec celle de la psychopathologie du travail, l'étude du cours d'action a besoin de la confiance des travailleurs afin qu'ils acceptent d'être objet des observations de l'ergonomiste, de voir leurs gestes et leurs paroles enregistrées, pour qu'ils participent activement à l'autoconfrontation avec l'enregistrement de leurs activités. Mais la demande initiale peut très bien être formulée par une entreprise qui projette de fabriquer un produit nouveau ou de construire un nouveau dispositif de fabrication. L'enjeu individuel de l'analyse des activités cognitives est moindre que celui de la détection de la souffrance et de ses défenses. Plus encore, l'ergonomie possède, non seulement, la catégorie des critères de santé et de sécurité en commun avec la psychopathologie du travail, mais aussi des critères de production (quantité et qualité).

Toutefois, la différence majeure entre analyse du travail (A.E.T.) et approche psychopathologique se situe dans l'objet même des observations. L'ergonomiste étudie tous les comportements (action, observation, communication), et exploite ses résultats pour décrire au mieux les activités diverses orientées vers l'action, il s'intéresse peu aux parties du discours des travailleurs qui n'expliquent pas directement l'action, c'est le travail qui l'intéresse. Il cherche à le connaître de la façon la plus objective possible, de telle sorte qu'un autre chercheur

puisse abou- tir à des conclusions voisines en étudiant le matériel recueilli.
On a vu plus haut que le psychopathologue ne s'intéressait pas au travail, mais seulement à l'effet subjectif de ce travail sur la personne et cela dans une relation intersubjective. C'est bien là que se trouve la différence irréductible entre ergonomie et psychopathologie. C'est là aussi que se trouve la nécessité d'une double approche du travail et du travailleur.

On peut aussi insister sur la différence de l'emploi social des deux disciplines, mais peut-être cela évoluera-t-il avec le temps. Actuellement, l'ergonomie a, certes, besoin de connaissances scientifiques, et en particulier, d'un modèle théorique des activités de l'Homme en action au travail, mais elle n'est pas qu'une discipline scientifique, c'est aussi une pratique sociale, un art comme celui de l'ingénieur ou du médecin.
S'il fallait à tout prix trouver une place à la psychopathologie du travail par rapport à l'ergonomie, on pourrait être tenté dans un premier mouvement de situer la psychopathologie du travail parmi les disciplines qui alimentent l'ergonomie comme la psychologie cognitive ou la chronobiologie. Mais on ne peut maintenir ce choix quand on observe l'insistance justifiée de la psychopathologie du travail à se distinguer de la psychanalyse en insistant sur le rôle central du travail et de ses activités de la même façon que le fait l'ergonomie et, en particulier, les spécialistes de l'analyse ergonomique du travail, du cours d'action. En fait, on ne peut jouer à situer l'étude du psychisme sur le même plan que l'anthropométrie, la physiologie musculaire ou la psychologie cognitive. C'est bien à un modèle multidimensionnel de l'homme au travail qu'il faut faire appel en soulignant que derrière ces réflexions théoriques, il y a un besoin social considérable, celui d'un changement radical des relations de l'homme avec son travail. Cette transformation ne saurait se limiter aux recommandations ergonomiques actuelles, même si elles constituent un grand progrès par rapport aux représentations de l'Homme a priori qui dominent encore actuellement la conception des systèmes techniques et l'organisation du travail.

CONCLUSION

Ces quelques réflexions à propos de l'ergonomie et de la psychopathologie du travail trouvent un écho dans un livre récent de Colby et Stoller (1988) écrit dans une perspective plus large que celle du travail.

"La psychanalyse peut contribuer à une science de la vie mentale si elle ne reste pas la psychanalyse que nous connaissons mais s'oriente vers une science et une technologie plus efficace: la science cognitive. Et nous pensons que la science cognitive ne croîtra pas depuis son actuelle situation de novice jusqu'à l'état de science de la vie mentale sans qu'elle se confronte aux aspects importants des activités mentales réelles que sont l'imagination et les sentiments. Nous ne savons pas comment cela se passera, notre livre [article], n'a pas pour but de préciser le comment. Nous pouvons seulement décrire le pourquoi et, ainsi, utilisant la prérogative des anciens de la tribu proposer la tâche à la prochaine génération".

REFERENCES

- CHANGEUX P. (1983) L'Homme neuronal FAYARD pub. PARIS

- COLBY K.M., STOLLER R.J. (1988) Cognitive science and psychoanalysis THE ANALYTIC PRESS HILLSDALE (NEW-JERSEY)

- CRU D. (1987) Les règles du métier in DEJOURS C. Plaisir et souffrance dans le travail AOCIP pub PARIS

- DEJOURS C. (1981) Travail : usure mentale CENTURION pub PARIS

- DEJOURS C. (1985) Organisation du Travail - clivage - aliénation in DEJOURS C., VEIL C., WISNER A. Psychopathologie du travail E.M.E. pub. PARIS p. 123-130

- DEJOURS C. (1986) Le corps entre biologie et psycho-analyse PAYOT pub. PARIS

- DEJOURS C. (1987a) Plaisir et souffrance dans le travail Tome I AOCIP pub. PARIS

- DEJOURS C. (1987b) Souffrance et plaisir au travail : l'approche par la psychopathologie du travail in DEJOURS C. Plaisir et souffrance dans le travail Tome I AOCIP pub. PARIS

- DEJOURS C. (1987c) La méthodologie en psychopathologie du travail in DEJOURS C. Plaisir et souffrance dans le travail Tome I AOCIP pub. PARIS

- DEJOURS C. (1988) Plaisir et souffrance dans le travail Tome II AOCIP pub. PARIS

- DEJOURS C., VEIL C., WISNER A. (1985) Psychopathologie du travail EMF pub. PARIS

- DESSORS D., LAVILLE A. (1985) La signification du discours ouvrier. Ergonomie et psychopathologie du travail : incompatibilité ou complémentarité ? in DEJOURS C., VEIL C.,WISNER A. Psychopathologie du travail E.M.F. pub. PARIS p. 58-63

- FLOYD W.F.,WELFORD A.T. (1953) Fatigue LEWIS et DE GRAFF pub. LONDRES

- KALSBEEK J.W.H. (1965) Mesure objective de la surcharge mentale. LE TRAVAIL HUMAIN 28 121-132

- KALSBEEK J.W.H. (1985) Etude de la surcharge informatique sur le comportement et l'état émotionnel in DEJOURS et coll. E.M.F. pub. PARIS, p. 167-173

- LAVILLE A., TEIGER C. (1972) Nature et variations de l'activité mentale dans des tâches répétitives : essai d'évaluation de la charge de travail. LE TRAVAIL HUMAIN 35 1-2 99-116

- PINSKY L. (1988) Cours d'action et activité in COMPTES-RENDUS DU XIV CONGRES DE LA SELF PARIS

- PINSKY L., THEUREAU J. (1987) L'étude du cours d'action : analyse du travail et conception ergonomique. LABORATOIRE D'ERGONOMIE DU CNAM pub. PARIS

- WISNER A. (1972) Diagnosis in ergonomics or the choice of operating models in field research ERGONOMICS 15 6 601-620

- WISNER A. (1981) Organizational stress, cognitive load and mental suffering in SALVENDY G., SMITH M.J. Machine pacing and occupational stress TAYLOR and FRANCIS ed. LONDRES

- WISNER A. (1988) Les travailleurs face aux systèmes complexes et dangereux INTEFP pub MARCY L'ETOILE p. 197-228

- WISNER A., DANIELLOU F., DEJOURS C. (1986) Uncertainty and anxiety in continuous process industries in NORO K. Occupational health in automated factory TAYLOR and FRANCIS pub. LONDRES

UN ENJEU MAJEUR : L'INTELLIGENCE AU TRAVAIL

Ce texte est celui d'un exposé introductif prononcé par A. Wisner au Colloque organisé à Orsay en Juin 1989 par l'Université Paris-Sud et Transinnova sur l'interface Entreprise-Université. Il a été publié dans les Actes de ce Colloque.

En 1789, nos ancêtres proclamaient l'universalité de la raison et justifiaient ainsi l'égalité des droits. Il s'agissait alors d'une audacieuse affirmation idéologique. En 1989, une analyse précise de l'activité intellectuelle - cognitive - du travailleur situé au plus bas de l'échelle sociale, permet de montrer l'extrême complexité de son activité cérébrale. Pelleter un tas de cailloux est loin d'être une opération simple du point de vue cognitif, pas plus que de faire une soudure correcte. Ainsi, une assertion philosophique, base de la démocratie, devient une certitude scientifique sur laquelle doit reposer notre succès économique.

Cette intelligence de la tâche - selon l'expression de Maurice de Montmollin - a été niée avec vigueur pendant un siècle. F. W. Taylor a même affirmé que cette intelligence était nocive, qu'il lui fallait des travailleurs ayant la force et l'intelligence d'un boeuf, et Henry Ford disait que le travailleur devait laisser son intelligence avec son chapeau en entrant dans l'atelier.

La France partage - hélas avec quelques pays - le triste privilège d'avoir voulu prolonger le taylorisme plus longtemps que les autres en allant chercher loin dans le monde,des travail-

leurs qui acceptent ce mode de production. Cette obstination nous a conduit à retarder la modernisation de notre industrie au contraire de la Suède et du Japon, par exemple.

La concurrence japonaise nous interroge de multiples façons. L'une des questions posée par le succès nippon est celle de l'emploi de l'intelligence de tous et de chacun. Une des expressions de cette volonté est d'embaucher comme ouvriers, dans les grandes entreprises, des personnes ayant achevé leurs études secondaires. Cette attitude japonaise vis-à-vis de l'intelligence n'a été transférée chez nous que sous la forme des cercles de qualité dont le contenu a parfois bien changé pendant le voyage. On y retrouve trop souvent une nouvelle mouture des relations sociales où le but est de séduire le salarié et de l'attacher à l'entreprise plutôt que de connaître ses difficultés et ses processus de pensée au travail.

Mon propos peut-il se résumer à une invitation simple à l'élévation générale du niveau scolaire, alors que beaucoup de chefs d'entreprise se plaignent de recevoir des bacheliers qu'ils ne peuvent employer utilement qu'après une longue adaptation ?

L'intelligence est également répandue dans les diverses races humaines et les différents milieux sociaux chez l'enfant sain à la naissance, mais naturellement dans chaque groupe humain selon une grande dispersion statistique. Les énormes capacités du cerveau humain sont ensuite mises en oeuvre et développées dans des contextes très divers. Celui qui nous est le plus familier est celui de l'école où l'énoncé de tout problème comporte les indications nécessaires et suffisantes pour trouver la solution unique pour peu que l'on suive pas à pas le raisonnement souhaitable. On sait aussi que c'est cette expression de l'intelligence humaine qu'il est possible de reproduire de façon assez satisfaisante sous forme d'intelligence artificielle.

Il est une autre forme d'intelligence, celle "que l'on n'apprend pas à l'école", celle que demandent les chefs d'entreprise, surtout ceux des PME, c'est l'intelligence qui s'est déve-

loppée dans les conditions réelles de l'activité de production, mais aussi à la maison, dans les loisirs ou en faisant ses courses. On trouve, par exemple, dans un excellent livre intitulé "Every day cognition" un article remarquable portant sur "The dialectic of arithmetic in grocery shopping". Dans ce type d'ouvrage, on insiste sur l'aspect contingent du mode de raisonnement : le "hic et nunc".

Les études nombreuses et solides qui se développent dans le domaine de la psychologie cognitive doivent devenir très rapidement une des zones d'échange les plus actives entre Université et entreprise pour faire réussir les nouvelles technologies, réduire le risque dans les ensembles complexes et dangereux, pour donner des bases sérieuses à la formation des adultes, pour asseoir les nouveaux choix organisationnels. Ces échanges sont déjà très développés hors de France, et commencent à l'être dans notre pays dans des domaines aussi essentiels que l'automatisation des ateliers, la réduction des pannes-erreurs dans les réseaux de micro-ordinateurs du tertiaire, la sûreté des centrales nucléaires ou des grands ensembles chimiques. Le service Technologie, Emploi, Travail du Ministère de la Recherche et de la Technologie a récemment lancé un programme de recherches sur la formation des adultes de bas niveau de formation et de qualification. Ce programme devrait mettre en évidence l'aspect fictif d'un grand nombre de stages de formation actuellement dispensés pour un montant financier exorbitant. Quand on connaît la complexité des raisonnements qu'un O.S. peut mettre en oeuvre dans son travail quotidien, on peut difficilement accepter l'hypothèse d'ignorance, de table rase sur laquelle reposent trop de formations. Ce n'est qu'à partir des savoirs antérieurs, des modèles cognitifs employés jusque là que l'on peut faire évoluer quelqu'un vers l'usage correct d'un dispositif technique nouveau. Mais pour connaître comment quelqu'un pense, encore faut-il s'y intéresser et parfois, comme Feuerstein, lui donner les mots pour le dire.

Une importante dimension des recherches actuelles en sciences cognitives est la découverte de modes de penser aussi

rationnels que ceux des intellectuels, mais construits à partir d'expériences de vie différentes, qu'il s'agisse de paysans français, d'artisans du cuivre ou du cuir marocains, de navigateurs et pêcheurs océaniens, de chasseurs de la brousse africaine. Une anthropologie cognitive se développe rapidement et va permettre de comprendre de mieux en mieux pourquoi beaucoup de systèmes techniques que nous exportons, fonctionnent mal ou pas du tout dans le pays acheteur. Souvent, des conditions matérielles défavorables expliquent cette dégradation des systèmes techniques, mais la négligence ou le mépris des difficultés cognitives des opérateurs y est pour beaucoup. Bientôt, nos exportations seront peu ou pas subventionnées, il faudra développer nos ventes de systèmes industriels sur la base de leurs seules qualités productives. Comment le faire sans développer nous aussi l'adaptation de nos produits aux modes de penser et de parler de nos acheteurs ?

L'homme, animal social, possède des caractéristiques physiologiques et psychologiques qu'il faut mieux connaître, des modes relationnels qu'il faut approfondir. Dans le champ des données scientifiques indispensables aux entreprises, apparaissent maintenant l'étude des rythmes nycthéméraux, l'analyse des phénomènes biomécaniques, la réponse immunologique à la fatigue industrielle et aux dangers, la psychologie cognitive dont on vient de parler longuement, l'analyse linguistique des communications au travail, la psychopathologie du travail, des domaines divers de l'anthropologie à côté de ceux de la sociologie. Il faut que l'entreprise en prenne conscience, mais il faut aussi que les Universités, le C.N.R.S. et les autorités qui régissent nos activités sachent que, dans ces domaines essentiels, les sources universitaires sont belles mais de faible débit et qu'une soif légitime de l'entreprise suffirait à les tarir. L'apparition de nouveaux besoins engendre de nouvelles activités scientifiques et techniques comme l'ergonomie ou l'anthropotechnologie. Ces dernières posent des problèmes épistémologiques car elle sont pluridisciplinaires à l'origine. Mais, le plus difficile est

probablement de vaincre la crainte des sciences voisines de devoir partager de bien maigres ressources. L'industrie peut et doit rappeler ce qui lui est utile non seulement dans les domaines techniques, mais aussi pour les savoirs sur l'Homme.
Il s'agit là probablement d'une des raisons d'être du présent colloque et en tous cas d'une question commune à l'industrie, à l'économie en général et à l'Université.

LABORATOIRE D'ERGONOMIE ET NEUROPHYSIOLOGIE

DU TRAVAIL DU CNAM, 41 rue Gay-Lussac, 75005 Paris

Documents édités

2. Conditions de travail des femmes O.S. dans la construction électronique (A. LAVILLE, E. RICHARD, A. WISNER)

3. Etude des vibrations à bord de la chargeuse Michigan (A. BERTHOZ)*

4. Etude biomécanique des vibrations de basse fréquence subies par l'homme (Thèse Faculté des Sciences - Paris - A. BERTHOZ)*

5. Informations actives : positives ou négatives (Thèse CNAM - J.L. TANGUY)*

6. Etude biomécanique et électromyographique des mouvements de la tête (A. BERTHOZ)*

7. Rapport concernant des mesures effectuées sur une chargeuse transporteuse (A. BERTHOZ, J. FORET, F. GUERIN)*

8. Respiration, fréquence cardiaque et activité musculaire pendant les vibrations (A. BERTHOZ, A. LAVILLE)*

9. Protection de l'homme contre les vibrations (A. BERTHOZ)*

10. Etude des conditions de travail des ouvriers foreurs de pétrole (A. LAVILLE)*

11. Evaluation des vibrations à divers postes de travail de l'industrie sidérurgique (A. BERTHOZ, F. GUERIN, M. TISSERAND)*

12. Etude comparative d'ouvriers de 40 à 45 ans travaillant dans deux ateliers de l'industrie automobile (J. MARCELIN, M. VALENTIN)*

14. Mise au point et validation sur le terrain d'un critère de tolérance aux vibrations de basse fréquence (A. BERTHOZ)*

15. Effets des vibrations de basse fréquence sur le péristaltisme uretéral. Etude expérimentale chez le chat (Thèse Faculté de Médecine - Bordeaux - Ph. JARRIAULT)*

16. Réalisation d'un dispositif de mesure de distance par ultra-sons (Thèse C.N.A.M.- R. IACOVELLA)*

19. Les moyens individuels de protection contre les bruits (R. DUTHEIL, J. FORET, C. PARANT, D. ROSTOLLAND, M. FANDARD)*

20. Les critères d'évaluation de la charge mentale dans les systèmes homme-machine, suivi de l'utilisation des variables physiologiques au cours du travail à faible charge physique (A. WISNER, A. LAVILLE, C. TEIGER, J. DURAFFOURG)

---

* Document dont le stock est épuisé.

21. Etude du poste de commande de maître-sondeur (A. LAVILLE, F. JANKOVSKY)*

22. A quel homme le travail doit-il être adapté ? (A. WISNER, J. MARCELIN)

24. Textes généraux sur l'Ergonomie (1960-1971) (A. WISNER)

25. Etablissement de recommandations concernant la conception et l'aménagement de postes de travail destinés à des opérateurs atteints de troubles ostéo-articulaires (1ère tranche)
1ère partie : Etude bibliographique (Mai 1971)
2ème partie : Remarques sur l'utilité des bilans articulaires pour la conception des postes de travail (Octobre 1971)
3ème partie : Bilans articulaires chez cent opérateurs de 40 à 50 ans travaillant dans de petites et moyennes entreprises (Octobre 1972) (J. MARCELIN, F. ERULIN)*

28. Le diagnostic en ergonomie ou le choix des modèles opérant en situation réelle de travail (Avril 1972) (A. WISNER)

29. Conséquences du travail répétitif sous cadence sur la santé des travailleurs et les accidents (A. LAVILLE, J. DURAFFOURG, rapport final - Mars 1972 - Rapport n° 29bis, résumé du rapport n° 29, Février 1973).

30. Effets des chocs et des vibrations sur le contrôle du mouvement (A. BERTHOZ, P. VIVIANI, F. GUERIN, Mars 1972)*

31. Travail des équipes de forage pétrolier - Etude ergonomique (A. LAVILLE, F.JANKOVSKY, J. RICHARDSON, Juillet 1972)*

32. Etude du poste de conducteur de machine "trio" (J. FORET, F. BUISSET, J. FINOT, Juillet 1972)*.

32 bis Etude du poste de conducteur de machine "trio" (J. FORET, F. BUISSET, A.KERGUELEN, Juillet 1973)*

33. Etude et réalisation d'une "tâche de pointage programmée" et d'un "générateur de signaux" (D.E.A., Faculté des Sciences, Paris, D. ROSTOLLAND, Septembre 1972)*

34. Protection de l'homme au travail en ambiance froide (revue bibliographique) Application au travail des équipes de forage pétrolier (A. LAVILLE, F. JANKOVSKY, R. RICHARDSON, Octobre 1972)*

35. Contrôle vestibulaire des mouvements oculaires et des réactions d'équilibration chez le chat (Thèse Université Paris VI - A. BERTHOZ, Mars 1973)*

36. Influence de divers types de distorsion sur la compréhension des messages verbaux en milieu bruyant (R. DUTHEIL, J. FORET, C. PARANT, D. ROSTOLLAND, M. FANDARD, Mars 1973)*

37. Sommeil et horaires de travail irréguliers (Thèse Université des Sciences et Techniques de Lille - J. FORET, Mai 1973)*

38. Modélisation des systèmes de contrôle vestibulo-oculaire (Thèse Université Paris VII- A. GOLDBERG, Juin 1973)*

39. Tâches répétitives sous contrainte de temps et charge de travail (étude des conditions de travail dans un atelier de confection (C. TEIGER, A. LAVILLE, J. DURAFFOURG, Octobre 1973).

40. Charge de travail et vieillissement (changement de tâche et charge de travail chez les travailleurs vieillissants) (A. LAVILLE, C. TEIGER, J. DURAFFOURG, M. RAQUILLET, Novembre 1973)

41. Contenu des tâches et charge de travail (A. WISNER, Janvier 1974)

42. Le poste de conducteur de paqueteuse GDX (Etude ergonomique - Formation) (J. FORET, F. BUISSET, J. FINOT, Octobre 1973)*

43. Effet des chocs et des vibrations sur le contrôle du mouvement.
II. Modèle du système tête-cou
III. Etude biomécanique d'un outil pneumatique.
(A. BERTHOZ, P. VIVIANI, F. GUERIN, Octobre 1973)*

44. Etablissement de recommandations concernant la conception et l'aménagement de postes de travail destinés à des opérateurs atteints de troubles ostéo-articulaires (2ème tranche)
1ère partie : Bilans articulaires chez cent demandeurs d'emploi (Juillet 1974)
2ème partie: Etude de quelques variables anthropométriques chez 8203 demandeurs d'emploi (J. MARCELIN, Décembre 1974)*

45. La perception de la vitesse
I. Revue bibliographique
II. Perception de la vitesse linéaire - Rôle de la vision périphérique et interactions visuo-vestibulaires (A. BERTHOZ, B. PAVARD, Septembre 1974)*

46. Méthodes et critères de l'aménagement ergonomique du travail industriel. L'expérience méthodologique des équipes ergonomiques de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (J. THEUREAU, Novembre 1974)

47. Bilan de l'apport de la recherche scientifique à l'amélioration des conditions de travail (B. TORT, Décembre 1974)

48. Age et contraintes de travail (A. LAVILLE, C. TEIGER, A. WISNER), N.E.B., Paris, Avril 1975

49. Analyse ergonomique du travail dans un atelier de presses en vue de transfert de certaines presses dans un nouvel atelier à construire (J. DURAFFOURG, F. GUERIN, F. JANKOVSKY, J.C. MASCOT), A.N.A.C.T. ed., Novembre 1975

50. Aménagement des conditions de travail par équipes successives (travail posté) (A. WISNER et J. CARPENTIER, Juin 1976), A.N.A.C.T. ed.

51. Analyse du travail de correction sur écrans cathodiques (J. DURAFFOURG, F. JANKOVSKY, A. LAVILLE, G. LANTIN, L. PINSKY, C. TEIGER, Novembre 1976)*

52. Textes généraux II. Pratiques de l'ergonomie et pays en développement industriel. (A. WISNER, Septembre 1976).

53. Renseignements téléphoniques avec lecture de micro-fiches sous contrainte temporelle. Analyse des exigences du travail et de leurs conséquences physiologiques, psychologiques et sociales (C. TEIGER, A. LAVILLE, D. DESSORS, C. GADBOIS, Décembre 1977)*

54. Enquêtes auprès des auditeurs des enseignements de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du C.N.A.M. (D. DESSORS, M. LESCURE, J.M. HOC, C. TEIGER, Novembre 1976).

55. Le problème des modèles en psychopathologie du travail (A. DORNA, Décembre 1976 à Mai 1977)*

57. L'analyse du travail sur écran cathodique "Etude ergonomique. 2ème partie (J. DURAFFOURG, F. GUERIN, F. JANKOVSKY, G. LANTIN, B. PAVARD, Février 1978)

58. Le contrôle du système d'arrêt d'urgence dans une centrale nucléaire. Observations préalables d'une étude ergonomique (J. BOUTIN, A. LAVILLE, C. TEIGER, Novembre 1978)*

59. Age des travailleurs. Conditions de travail et emploi. Bilan d'une problématique de recherche (A. LAVILLE, C. TEIGER, H. BLASSEL, Avril 1977)*

60. Age et équilibration. Etude bibliographique et expérimentale. (M. MILLANVOYE, J. MARCELIN, Octobre 1978)*

61. Le travail sur terminal à écran dans les imprimeries de presse (F. GUERIN, B. PAVARD, J. DURAFFOURG, Octobre 1979) (Rapport final)

62. Morbidité, mortalité et conditions de travail des rotativistes des imprimeries de presse (C. TEIGER, A. LAVILLE, M. LORTIE, Décembre 1979)

64. L'analyse des infirmiers (ères) des unités de soins hospitalières. (J. THEUREAU, Décembre 1979)*

65. Travail de saisie-chiffrement sur terminal d'ordinateur. (L. PINSKY, R.KANDAROUN, G. LANTIN, Décembre 1979)

66. Une intervention ergonomique. Analyse et évaluation ergonomiques à l'occasion de l'implantation d'un atelier de presses. (J. DURAFFOURG, F. GUERIN, F.JANKOVSKY, J.C. MASCOT, Octobre 1979) A.N.A.C.T. ed.

67. Etude ergonomique d'un service d'expédition de journaux (B. DENOEUD, C. GERMAIN, Décembre 1979)

68. Textes généraux III (1976-1981) - Ergonomie. Travail mental, Anthropotechnologie. (A. WISNER, Juillet 1981)

69. Troubles de l'équilibration en rapport avec les accidents du travail. (J. MARCELIN, M. MILLANVOYE, Décembre 1981)

70. Vers une Anthropotechnologie. Comment pourvoir les pays en développement industriel de machines et d'usines qui marchent. (A. WISNER, Novembre 1981)

71. L'impact des technologies nouvelles sur le travail en postes dans l'industrie automobile. (F. DANIELLOU, Mai 1982)

72. Ergonomics. Mental Load. (A. WISNER, February, 1982)

73. Activité cognitive et action dans le travail (L. PINSKY, J. THEUREAU, Décembre 1982)

    Tome 1 : Les mots, l'ordinateur et l'opératrice.

    Tome 2 : Eléments et évènements du travail infirmier.

74. Informatisation d'une Compagnie d'Assurance. Impact sur l'activité des rédacteurs. (A. VLADIS, 1983)

75. L'activité des opérateurs de conduite dans une salle de processus automatisé. (F. DANIELLOU, M. BOEL, D. DESSORS, A. LAVILLE, C. TEIGER, R. VILLATTE, Décembre 1983)

76. La maintenance des étançons hydrauliques dans une mine de phosphate. Problèmes d'Ergonomie et d'Organisation. N. SAHBI, 1984)

77. Impact des nouvelles technologies sur les travailleurs expérimentés. Secteur Assurances. (A. VLADIS, 1984)

78. La bureautique : choix et conséquences (expertise auprès d'une commission formation/emploi) (F. GUERIN, 1984)

79. Activités cognitives au cours du travail nocturne. Leurs effets sur le sommeil. (Etude réalisée dans une agence de presse). (A. VLADIS, B. PAVARD, 1985)

80. Analyse ergonomique du travail des opérateurs de conduite dans une salle de contrôle du trafic d'une ligne de métro. Une approche anthropotechnologique. Thèse de docteur-ingénieur en ergonomie. (N. DOS SANTOS, Mars 1985)

81. Le stress et les technologies nouvelles. Les secteurs des Postes et Télécommunications. (Etudes de cas sur le code postal et le triage). (C. GERMAIN, C. MARTIN, 1985). Fondation Européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail ed., DUBLIN.

82. La modélisation ergonomique de l'activité de travail dans la conception industrielle. Le cas des industries de processus continu. (F. DANIELLOU, Octobre 1985)

83. Signification et action dans la conduite de systèmes automatisés de production séquentielle (L. PINSKY, J. THEUREAU, Décembre 1985)

84. Textes généraux IV. Ergonomie, Travail mental, Santé au travail, Anthropotechnologie (A. WISNER, Janvier 1986)

85. Les métiers du conditionnement de la conduite d'une machine à la maîtrise d'un système (F. GUERIN, S. DROIT, M. SAILLY, Octobre 1986)

86. Conséquences d'une activité cognitive sur le rythme veille-sommeil (étude réalisée dans une agence de presse) (A. VLADIS, B. PAVARD, Janvier 1987)

87. Le traitement de texte professionnel (B. PAVARD, Juin 1987)

88. L'étude du cours d'action. Analyse du travail et conception ergonomique (L. PINSKY, J. THEUREAU, Juin 1987)

89. Travail visuel, fatigue visuelle (L. DESNOYERS, Mai 1987)

90. Organisation du travail, représentation et régulation du système de production. Etude anthropotechnologique de deux distilleries situées dans deux tissus industriels différents du Brésil. Thèse de Doctorat d'Ergonomie 3e cycle (J. ABRAHAO, Mars 1986)

91. Maîtrise de l'exploitation d'un système micro-informatique par des utilisateurs non informaticiens. Thèse de Doctorat d'Ergonomie (F. JEFFROY, Novembre 1987)

92. Etude comparée des activités de régulation dans le cadre d'un transfert de technologie. Approche anthropotechnologique. Thèse de Doctorat d'Ergonomie (K. MECKASSOUA, Décembre 1986)

93. Effets de l'âge sur le maintien de l'équilibre. Influence du travail en hauteur et de la perception visuelle du mouvement (M. MILLANVOYE, C. LEMARCHAND, J. MARCELIN, Septembre 1985)

94. Compétences des opérateurs et état fonctionnel des systèmes automatisés transférés dans les P.V.D.I.. Cas de l'industrie chimique sénégalaise. Thèse de Doctorat d'Ergonomie (A. AW, 1989)

95. Les travailleurs postés et leur sommeil. Une étude dans l'industrie brésilienne. Thèse de Doctorat d'Ergonomie (L. LEAL FERREIRA, Décembre 1988).

96. La genèse du mode dégradé en milieu industriel. Etude dans l'industrie papetière algérienne. Approche anthropotechnologique. Thèse de Doctorat d'Ergonomie (A.KERBAL, Juin 1989).

97. La conduite des dispositifs automatisés fonctionnant en mode dégradé. Thèse de Doctorat d'Ergonomie (M. SAGAR, Juin 1989).

98. Textes généraux V. Ergonomie, Travail mental, Anthropotechnologie (A. WISNER, Août 1989).

P.S. Les rapports du laboratoire vous sont remis gratuitement sur demande écrite. Nous vous serions reconnaissants de bien vouloir nous les retourner s'ils ne correspondent pas à votre attente ou s'ils ne vous sont plus utiles.