



TRAVAIL DE NUIT, RYTHMES CIRCADIENS
ET REGULATION DES ACTIVITES.

Charles GADBOIS °, Yvon QUEINNEC °°

Rapport présenté au XIX° Congrès de la
Société d'Ergonomie de Langue Française,

CAEN, 10-12 Novembre 1983.

A paraître in Le Travail Humain, 1984,
Vol. 47, n°3.

°Laboratoire de Psychologie du Travail
EPHE
ERA 236 CNRS
41 Rue Gay-Lussac 75005 PARIS

°°Laboratoire de Psychophysiologie
ERA 700 CNRS
Université Paul Sabatier
31062 TOULOUSE Cedex

RESUME : L'analyse des données actuellement disponibles concernant le travail de nuit révèle la complexité de cette situation où l'activité des sujets se trouve conditionnée tout à la fois par les rythmes circadiens qui affectent le fonctionnement de l'organisme et les conditions de travail. Ces dernières sont susceptibles de moduler très fortement l'impact de la rythmicité circadienne. Inversement celle-ci, par le jeu des structurations multiples des capacités humaines, est susceptible d'infléchir les réponses dans une situation donnée. Le développement de recherches chronopsychologiques en situations réelles de travail constitue un préalable à l'aménagement des conditions du travail de nuit. En effet, les solutions nécessitent de s'intéresser tout autant au cadre organisationnel du travail qu'à son contenu et aux populations concernées.

MOTS CLEFS : Travail de nuit.
Rythmes circadiens.
Chronopsychologie.
Analyse du travail.

Les problèmes posés par le travail de nuit, quel que soit le mode d'organisation sous-jacent, ne sont pas nouveaux. Cependant, divers éléments en font toujours une question d'actualité. En effet, comme tout aspect de l'organisation des activités professionnelles, le travail de nuit doit être replacé dans son contexte général. Or celui-ci subit de profondes transformations, que l'on peut regrouper selon quatre axes principaux :

1. De 1950 à 1973, on a assisté à une prodigieuse accélération du recours au travail posté impliquant un poste de nuit. La situation générale de crise économique a depuis certes ralenti ce processus, mais elle ne l'a pas inversé, ni même stoppé. (FUC-CFDT, 1982)

2. La conjoncture sociale, syndicale et législative évolue, notamment dans la perspective de la réduction des horaires de travail, et en particulier, de l'introduction de la 5e équipe. (passage à 35 heures, en moyenne, par semaine travaillée au 31/XII/1983).

3. La mutation technologique en cours n'est pas sans effet sur le travail de nuit, et ceci d'un triple point de vue :

- Dans les secteurs faisant traditionnellement appel au travail de nuit, elle transforme les tâches confiées aux opérateurs, et de ce fait, les fonctions sollicitées. Ceci est particulièrement bien illustré par l'évolution de la conduite de processus (de Terssac & Queinnec, 1983);
- Des secteurs nouveaux comme l'imprimerie de labour, les banques, la radio, l'agro-alimentaire,.... etc, sont concernés par le travail de nuit;
- Enfin, de nouvelles catégories de travailleurs, jusqu'ici épargnés par le travail de nuit, sont sollicités. Ainsi dans un grand quotidien régional, le passage de la composition au plomb à la photocomposition informatisée s'est traduit par la disparition de 85 lino-typographes hommes et par le recrutement de 81 dactylo-clavistes femmes dans l'atelier de fabrication du journal. Parallèlement les équipes fixes ont été remplacées par des équipes alternantes à rotation longue (Queinnec & coll., 1983 a).

4. Enfin, et c'est ce dernier point qui retiendra ici toute notre attention, l'état des connaissances scientifiques s'est considérablement fortifié. Les apports de la chronobiologie, notamment, ont grandement facilité notre appréhension des problèmes du travailleur de nuit. En effet, depuis une trentaine d'années, on assiste à une prodigieuse accumulation de données sur les divers effets et contraintes du travail de nuit, et ceci tant sur le plan de la santé que sur celui des répercussions familiales et sociales.

Cependant, et de façon pour le moins surprenante, l'étude de l'activité réellement déployée sur les lieux de travail, la nuit, reste peu développée (NAITOH, 1982). Le nombre très restreint des recherches en ce domaine a souvent conduit à une forte simplification des problèmes, et de ce fait, à rechercher des solutions générales souvent mal adaptées aux réalités d'une situation donnée. Il nous semble primordial, dans une perspective ergonomique, que la réflexion sur l'organisation temporelle du travail de nuit s'attache tout autant à son contenu et à ses modalités d'exécution (nature du travail, répartition des fonctions au sein des équipes,...) qu'à son enveloppe (systèmes de rotation, horaires de début et de fin de poste,...).

Contentons-nous ici de remarquer que cet aspect du travail ne figure pas explicitement dans les modèles généraux d'étude du travail posté, tels que ceux de RUTENFRANZ (1976), de KUNDI & coll. (1979), ou encore de HAIDER & coll. (1981). Si divers auteurs le mentionnent (CZEISLER & coll. 1982; REINBERG & coll., 1979), rares sont ceux qui s'y arrêtent (BARHAD & PAFNOTE, 1970; GUERIN, 1977; FOLKARD & MONK, 1979; FOLKARD, 1981).

Pourtant, c'est dès le stade de la conception des systèmes techniques et de la prescription des tâches qu'il convient de s'intéresser aux futures conditions d'utilisation du matériel la nuit, et aux modalités réelles du travail. Trop souvent, des postes devant être occupés la nuit sont conçus par et pour des travailleurs de jour. Par ailleurs, la spécificité des différents quarts dans le travail en continu est, de fait, évacuée. Enfin, au moins implicitement, le niveau d'exigence est supposé constant pendant la durée de chaque faction. Les études consacrées à l'analyse de l'activité réelle de nuit, aussi peu nombreuses qu'elles soient, permettent pourtant de mettre en évidence des éléments essentiels dont la prise en compte s'avère indispensable pour une analyse correcte des problèmes posés par le travail de nuit, et pour la recherche de compromis aussi tolérables que possible.

I. INTERETS ET LIMITES DES INDICATEURS DE PERFORMANCE AU COURS DU TRAVAIL DE NUIT

Ainsi que le formule REINBERG (1977), le travail de nuit pose problème parce que le travailleur est amené à dormir et à travailler à des moments où son organisme n'est pas prêt à le faire. Travailler la nuit, c'est donc tout à la fois passer des nuits blanches et les passer à travailler. Pour ce qui est du travail, la question a été essentiellement abordée sous l'angle des variations circadiennes de la performance qui ont fait l'objet de nombreuses études expérimentales en laboratoire et d'un petit nombre d'études sur le terrain (*). Qui dit performance dit tâche, et la question de la nature de la tâche ne pouvait donc être ignorée.

(*) La question a été également abordée sous l'angle des accidents du travail. Cette approche ne sera pas considérée, les problèmes posés étant alors beaucoup plus complexes. On pourra se reporter sur ce point à Carter F.A. et Corlett (1982).

Cette question est posée avec plus d'acuité par les recherches de terrain, et surtout par celles qui prennent pour mesure de la performance les résultats du travail ou certains comportements contribuant à la production de ces résultats, plutôt que la performance à des tâches-tests supplémentaires, transférées du laboratoire, et totalement extérieures au travail de l'opérateur. Malheureusement ces recherches sont peu nombreuses, et de plus, la visée qui les sous-tend fait que les éléments de réponse à la question qui nous intéresse sont assez limités. Ces études sont en effet principalement orientées vers la mise en évidence, sur le terrain, du phénomène général de la rythmicité circadienne - déjà largement établie dans les expériences de laboratoire - et en particulier de la traduction de ce phénomène dans la dégradation nocturne de l'efficacité, émergeant quelle que soit la diversité des situations. Ainsi, ce que donne à voir, en première lecture, le graphique récapitulatif de ces travaux établi par FOLKARD et MONK (1979), c'est une similitude des courbes de performance se rapprochant plus ou moins de la forme canonique d'une sinusoïde, avec toujours deux creux, l'un correspondant aux heures de nuit, et l'autre, plus bref, à la "dépression post prandiale" du début de l'après-midi (fig. 1).

Le grand intérêt de ces études est de fournir une illustration concrète, en situation réelle de travail, de l'importance des variations d'efficacité liées à la rythmicité circadienne. Par là, elles n'ont certainement pas peu contribué à la prise en compte sociale des connaissances scientifiques développées en laboratoire. Mais cette mise en lumière, sur le terrain, du fait fondamental de la rythmicité circadienne, pour importante qu'elle soit, s'est trop peu prolongée par l'exploration de questions plus fines. Les observations s'écartant du modèle de la courbe sinusoidale sur les 24 heures ont généralement été appréhendées comme la manifestation de facteurs parasites, regrettables, mais qui n'entachent que de manière accessoire la régularité fondamentale des variations circadiennes. Or s'il importe au plus haut point de reconnaître l'importance des facteurs chronobiologiques et chronopsychologiques, il est aussi tout à fait nécessaire de s'interroger sur ce que devient l'expression de ces facteurs lorsqu'ils interagissent avec d'autres, que seules les nécessités de l'analyse pouvaient conduire, dans une première étape, à laisser momentanément à l'écart.

C'est avec cette visée que nous examinerons ici, tout d'abord, les recherches sur le terrain. Celles-ci fournissent en effet, de par la variabilité et la complexité des situations de travail étudiées, un certain nombre d'éléments qui aident à préciser le système des relations existant entre la performance dans le travail, d'une part, les variations circadiennes de l'état de l'opérateur et les conditions de la tâche d'autre part. La lecture que nous ferons de ces études s'attachera ainsi à les situer :

- a) quant à la nature de l'activité déployée par l'opérateur,
- b) quant aux relations entre l'activité de l'opérateur, les objectifs qui lui sont assignés, et les indicateurs de performance utilisés.

Evoquons en premier lieu deux recherches dans lesquelles l'activité considérée est de même type, simple - à savoir un temps de réaction -, et ne recouvre qu'une part plus ou moins large de l'ensemble du travail effectué par les opérateurs. Dans l'étude de BROWNE (1949)

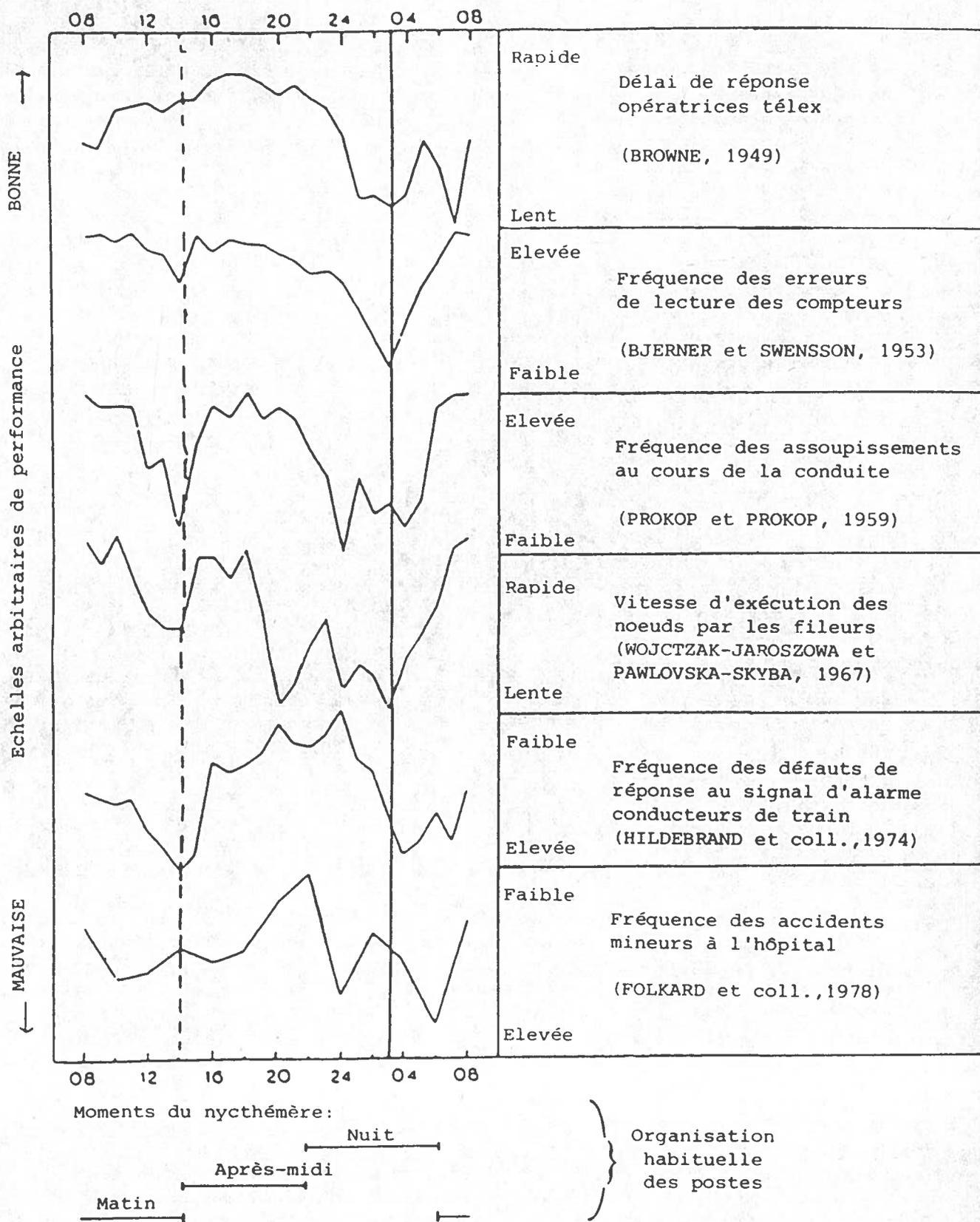


FIGURE 1.: Variations nyctémérales de la performance chez des opératrices ou des opérateurs effectuant différentes tâches (voir texte) en situation de travail continu. D'après FOLKARD, 1981 .

concernant les opératrices telex de la R.A.F., la variable analysée est la durée moyenne, par tranche horaire, du délai de réponse aux appels qui arrivent de manière aléatoire au standard. De même, HILDEBRANDT et coll. (1974) analysent les statistiques d'absence de réponse des conducteurs de train à un signal de contrôle de vigilance émis selon une périodicité régulière de l'ordre de 20 minutes. Ce défaut de réponse entraîne l'émission d'un signal de rappel, dont le non respect provoque l'arrêt du train. Mais par ailleurs, ces deux situations se distinguent très fortement du point de vue des conséquences d'une faible performance, c'est à dire d'une réaction lente: d'un côté arrêt intempestif du train, assorti d'une sanction, de l'autre simple prolongation de l'attente de l'utilisateur appelant le standard.

Dans l'étude de BJERNER et coll. (1955) menée dans une usine à gaz, les erreurs de relevés des compteurs qui servent d'indicateurs de performance sont la résultante d'une activité qui implique des opérations plus diversifiées : activité perceptive dans la simple lecture des compteurs, vraisemblablement mémorisation à court terme, calculs simples (additions et soustractions entre certaines des valeurs relevées), et sans doute aussi activité cognitive de contrôle de la cohérence des relevés. Mais la nature même des données utilisées (archives de relevés) ne permet pas de déterminer ce qui peut revenir, dans la production des erreurs, à l'une ou l'autre des différentes composantes de la tâche. Quant aux conséquences de ces erreurs, rien n'est dit; et l'on peut seulement remarquer, du fait même de la nature des données d'archives, que ces erreurs sont en fait des erreurs corrigées, c'est à dire détectées par l'opérateur lui-même.

Les ouvriers de la raffinerie de sucre étudiés par MEERS (1977) présentent une activité mentale beaucoup plus complexe. La qualité du produit - qui fournit la mesure de la performance - n'est connue que 6 heures après l'intervention déterminante de l'opérateur, et cette intervention consiste en une prise de décision mettant en jeu un système de connaissances très élaboré : il s'agit en effet de décider du moment où il conviendra de provoquer la cristallisation du sirop, en fonction des indices recueillis par un examen au microscope d'échantillons de ce sirop. D'autre part, la qualité de la production a une incidence sur la rémunération.

Quant aux tréfileurs, également étudiés par MEERS, leur tâche est décrite par celui-ci comme comportant "des aspects mentaux aussi bien que physiques (introduire et enlever les bobines de fil, remédier aux incidents mécaniques qui se produisent)", et caractérisée par le fait que "l'opérateur reçoit des informations immédiates et univoques concernant le résultat de ses activités". L'indicateur de performance est ici la quantité produite, et il s'avère qu'elle n'est pas différente la nuit de ce qu'elle est de jour. Ceci s'explique, selon l'auteur, par le fait que "les machines y déterminent l'allure de travail". Ainsi la relation entre la performance et l'état fonctionnel du sujet est en quelque sorte artificiellement rompue. Mais il est intéressant de relever que, dans le même temps, la fatigue saisie dans son expression subjective est plus élevée la nuit chez les tréfileurs, comme elle l'est aussi chez les raffineurs.

Enfin, pour les opérateurs de machines semi-automatiques de fabrication de pneus, étudiés par BARHAD et PAFNOTE (1970), le travail implique une activité "présentant une sollicitation complexe: perceptive, de coordination, et avec effort physique moyen". Une telle caractérisation pourrait suggérer à certains égards un rapprochement avec la situation des tréfileurs évoquée précédemment. Mais il convient certainement d'être plus circonspect. Dans cette étude, c'est également un indice quantitatif de performance qui est utilisé: la durée moyenne de production d'un pneu. L'opérateur a une influence sur la durée du cycle unitaire de production, il peut donc y avoir une relation entre la performance et l'état fonctionnel de l'opérateur, mais cette relation ne peut jouer que dans les limites du degré d'influence de l'opérateur sur le temps de cycle. D'autre part, les objectifs de production assignés, sur le plan quantitatif, ne prennent sens qu'au niveau de la production globale sur la durée totale d'un poste; et à ce niveau, l'influence des variations circadiennes de l'état fonctionnel de l'opérateur sur la performance se trouve alors amoindrie. Les mesures effectuées dans cette situation montrent que la performance des postes de nuit est égale à celle des postes de jour, du moins pour le milieu et la fin de la semaine (mercredi et samedi). Mais par ailleurs, on constate aussi que la fatigue est plus importante au cours des postes de nuit. Par contre rien n'est dit quant à la qualité des pneus produits la nuit.

Cette rapide présentation de quelques-unes des études sur les variations circadiennes de la performance en milieu de travail aura permis de rappeler et d'illustrer à la fois la diversité et la complexité des tâches accomplies par les opérateurs en situation réelle. Si la diversité n'a rien que d'évident, reste cependant à en définir les implications pour ce qui concerne les problèmes posés par le travail de nuit. Comme nous le verrons plus loin, les recherches de chronobiologie et de chronopsychologie fournissent des résultats auxquels il importe de prêter attention. Quant à la complexité des situations de travail, familière à l'ergonome, elle permet de saisir comment la relation entre les variations circadiennes de l'état fonctionnel de l'opérateur et l'efficacité de celui-ci n'est pas nécessairement étroite car elle est souvent fortement médiatisée par les caractéristiques intrinsèques de la situation de travail. La figure 1 le montre bien: les courbes qui retracent l'évolution circadienne de la performance dans chacune des situations présentent, de fait, un point commun, à savoir une altération marquée de l'efficacité de nuit se situant dans la plage 0h - 6h. Mais, si leur allure générale peut apparaître quelque peu similaire, ce n'est pas sans de fortes simplifications qu'on peut les réduire au modèle de la sinusofide. Un examen plus détaillé pourrait aussi déceler des différences notables entre ces courbes, pour ce qui concerne par exemple la position de l'acrophase ou la pente de dégradation des performances.

En définitive, s'il y a incontestablement une variation circadienne sous-jacente, les effets en sont toujours médiatisés dans les situations de travail. De sorte que, dans une perspective de recherche, la performance en milieu de travail ne peut fournir qu'un indicateur plus ou moins fidèle des variations circadiennes qui affectent les capacités de l'opérateur. Mais, réciproquement, dans une perspective d'aménagement des conditions de travail, les variations circadiennes des capacités de l'opérateur ne se répercutent pas nécessairement de manière directe et constante sur l'efficacité de celui-ci.

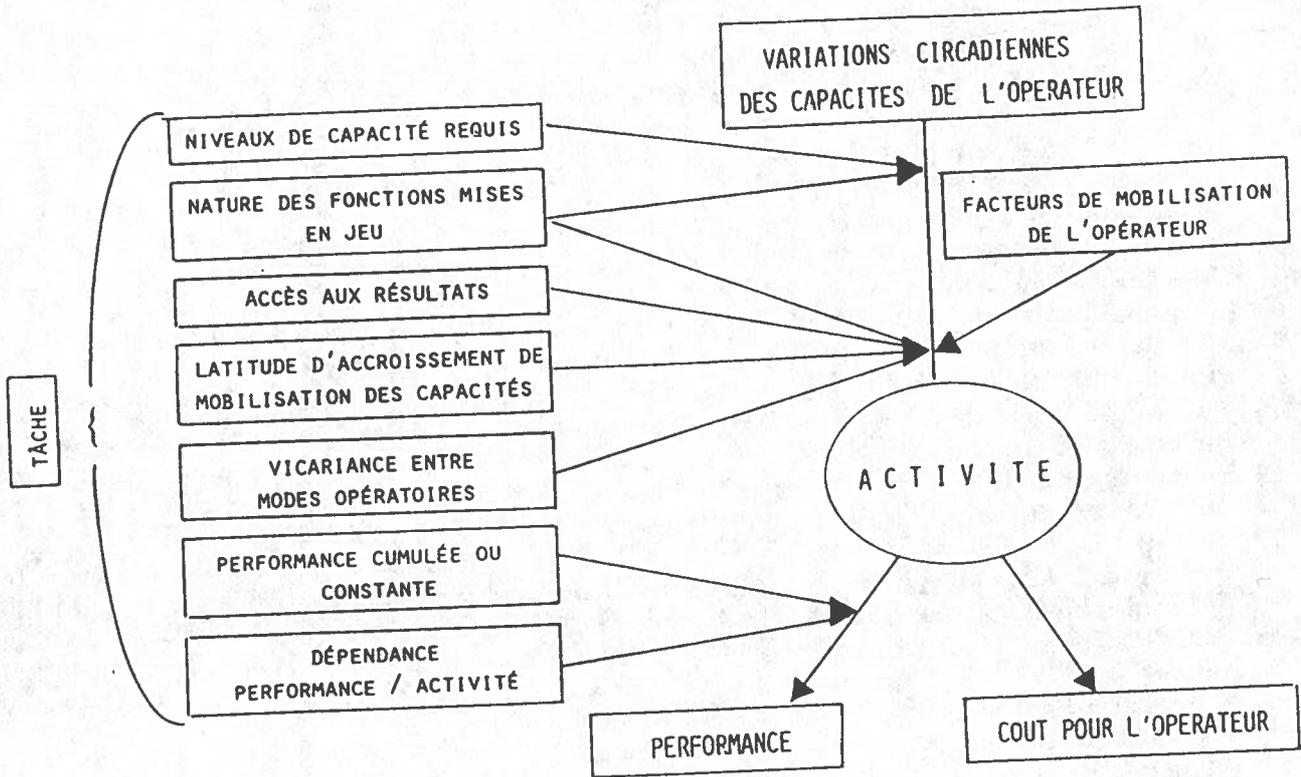


FIGURE 2.: Facteurs susceptibles de moduler l'impact des rythmes biopsychologiques sur l'organisation de l'activité de travail.

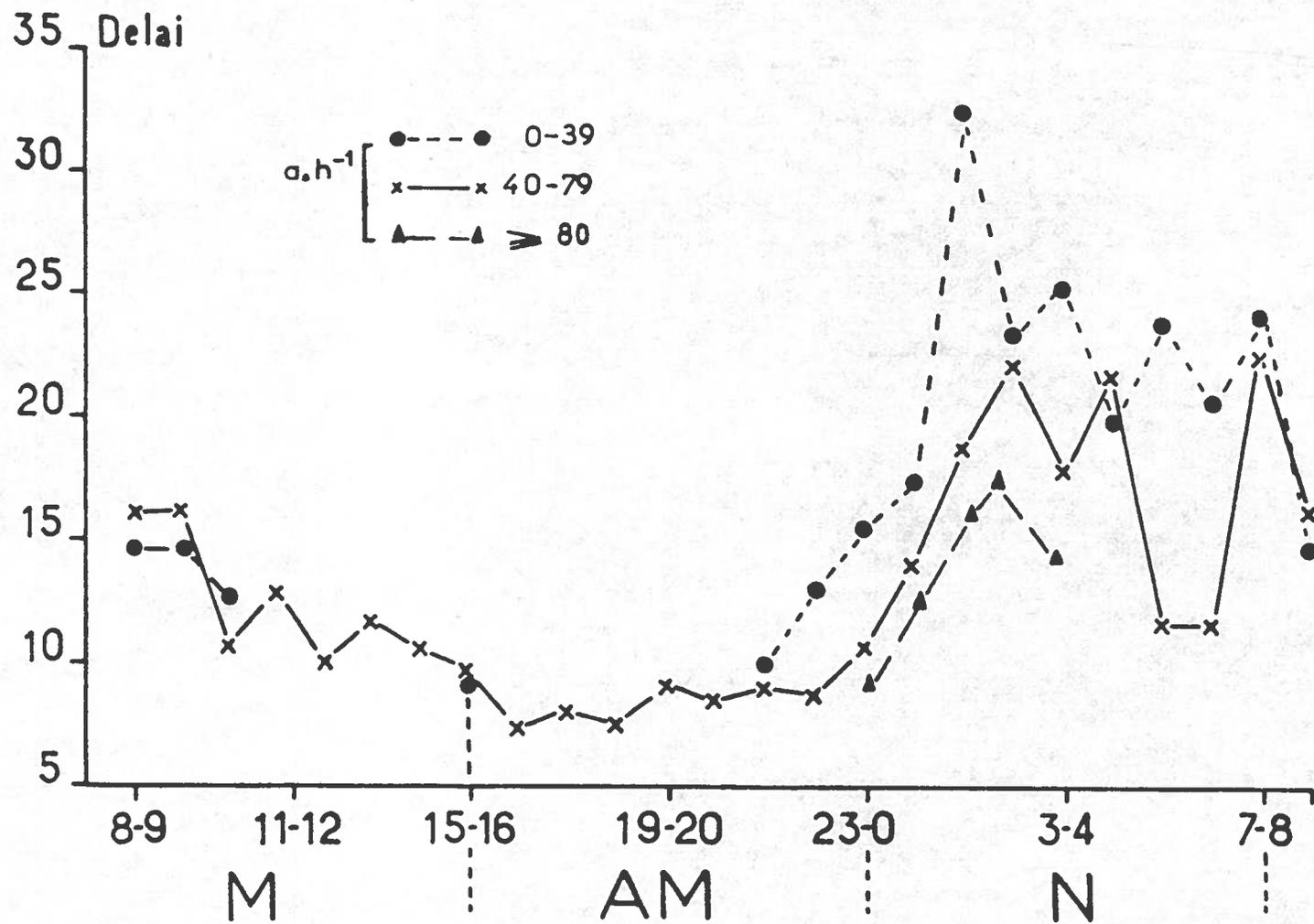


FIGURE 3.: Variations du délai de réponse (en secondes) d'opératrices, en fonction de l'heure (abscisses) et de la fréquence horaire des appels téléphoniques (a/h-1). Valeurs calculées d'après des données de BROWNE, 1949.

M=Faction du matin; AM de l'après-midi et N de nuit.

notion de "niveau vrai", reste au moins que l'annulation expérimentale, à des fins d'analyse, du facteur "niveau d'effort" n'affecte en rien l'existence bien réelle de ce facteur dans les situations de travail, et nous laisse tout à fait démunis quant à la connaissance des effets de ce facteur. Or ces effets ne sont certainement pas négligeables. Des données intéressantes sont fournies à cet égard par l'étude de CHILES et coll. (1968), portant sur des sujets placés pendant plusieurs semaines en situation simulée de séjour dans un véhicule spatial. Ces auteurs observent en effet que, pour plusieurs mesures de performance dans des tâches de vigilance, les variations circadiennes ne se manifestent pas dans une condition expérimentale où les sujets ont reçu pour instruction de fournir un effort particulier chaque fois qu'ils ressentent une diminution de leur niveau de vigilance. L'accroissement de la mobilisation des capacités de l'opérateur se retrouve également dans l'étude de BROWNE (1949). L'examen des données publiées montre en effet que dans une période correspondant en principe à une efficacité moindre - c'est à dire entre minuit et 3h -, si le nombre des appels reçus par le standard est élevé, le délai de réponse tend alors à être plus rapide que le délai de réponse observé entre 21h et minuit si le nombre des appels est faible (figure 3).

Un autre aspect des rapports entre niveau de l'effort et manifestation de la rythmicité circadienne apparaît aussi clairement dans un groupe d'opératrices d'une manufacture de cigares (Khalèque et Verhaegen, 1981) où la production présente des variations circadiennes pour les opératrices qui visent une performance maximale, assortie d'un bonus financier, mais non celles dont la production ne dépasse pas le niveau moyen du groupe.

L'analyse du facteur effort - on le notera ici sans pouvoir le développer - d'une part supposerait de faire intervenir un paramètre "connaissance des résultats", et soulèverait d'autre part la question des possibilités d'accroissement volontaire de mobilisation des capacités de l'individu, mobilisation certainement variable selon la nature des tâches et des fonctions psychophysologiques mises en jeu.

Enfin, on ne saurait conclure ces réflexions sans évoquer la question corollaire de celle de l'effort, c'est à dire celle du coût pour l'opérateur. Les données des études sur les variations circadiennes de la performance en milieu de travail n'apportent que peu d'éléments permettant de développer cette question. Du moins peut-on souligner ce que nous enseignent bien des analyses ergonomiques et que nous rappellent les résultats des deux études de MEERS (1977). Les relations entre la performance dans la tâche et le coût qu'elle représente pour l'opérateur sont loin d'être univoques. Un état fonctionnel amoindri n'entraîne pas nécessairement une production quantitativement ou qualitativement déficiente; et réciproquement, une production stable n'implique pas forcément un état fonctionnel invariant et un coût minimal. En d'autres termes, la performance ne préjuge en rien, ni des modes opératoires employés, ni du coût réellement supporté par les opérateurs (WISNER, 1971). Au delà d'une relation directe entre la performance et les variations circadiennes de l'état fonctionnel de l'opérateur, c'est donc sur l'activité qui sous-tend cette relation et sur les conditions dans lesquelles s'exerce cette activité qu'il convient de faire porter l'analyse.

Jusqu'ici, c'est dans la perspective de l'analyse ergonomique du travail que nous avons tenté de dégager certaines grandes lignes d'un approfondissement des études concernant les effets des phénomènes de rythmicité circadienne au plan des conditions de travail. Mais l'approfondissement de ces études implique aussi de mieux prendre en compte, dans toute leur complexité, les acquis importants de la chronobiologie et de la chronopsychologie, et de prêter attention à celles de leurs pistes de recherches qui ne sont encore que partiellement explorées.

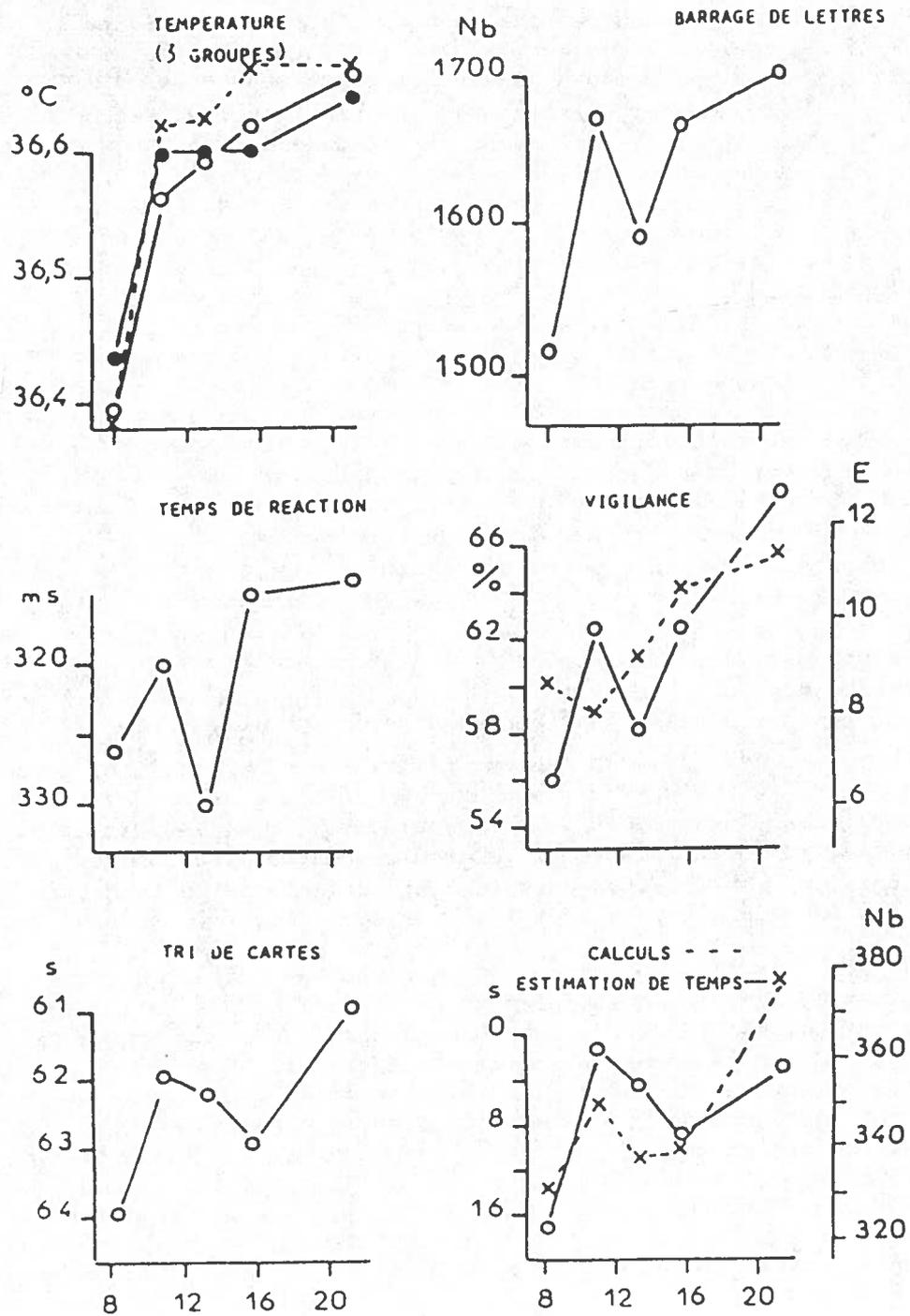


FIGURE 4.: Variations journalières de la température corporelle (en degrés centigrades) et de la performance à divers tests psychométriques. (E=nombre d'erreurs; Nb=nombre de lettres barrées ou d'opérations effectuées; s=durée de tris, en secondes; ms=temps de réponse estimé en millisecondes)
D'après des données de BLAKE, 1967.

III. RYTHMICITES CIRCADIENNES ET STRUCTURATION DE L'ACTIVITE.

1. Diversité des rythmes circadiens

Il est bien établi que l'existence des rythmes biologiques confère à l'homme selon l'expression de REINBERG (1974), une véritable "structure temporelle", c'est à dire un système de relations temporelles entre une série de variables ayant chacune des évolutions ultradiennes, circadiennes et infradiennes - évolutions différentes mais néanmoins interdépendantes. L'illustration la plus connue en est la carte temporelle d'un ensemble de fonctions physiologiques qu'A. REINBERG nous a rendue si familière. Mais trop souvent encore, le raisonnement implicite repose sur l'idée d'une réduction nocturne globale des capacités fonctionnelles humaines. Il est vrai que, tant du point de vue du fonctionnement biophysique que de celui des capacités psychophysiques, de très nombreux résultats conduisent à l'idée d'une réduction nocturne de l'efficacité et des possibilités de notre organisme. Cet aspect quantitatif ne saurait faire oublier la dimension qualitative des rythmes biologiques. Comme le souligne REINBERG, (1979), à propos du fonctionnement cellulaire, "une cellule ne peut tout faire en même temps". Ainsi par exemple, la cellule hépatique est capable de synthétiser du glycogène et des protéines; mais elle ne fait pas les deux en même temps. Ces deux processus fondamentaux se succèdent dans le temps de façon périodique, la cellule utilisant l'énergie disponible à une certaine heure pour la synthèse du glycogène, et 12h plus tard à la synthèse des protéines. De même au niveau de l'organisme, à un moment donné, certaines fonctions sont à leur maximum alors que d'autres en sont encore très éloignées. Ce fait est aujourd'hui bien établi au plan psychologique par toute une série de recherches en laboratoire ou de terrain portant sur la performance dans des tâches expérimentales simples, bien que le nombre et la nature de ces tâches ne permettent encore que de dresser une carte temporelle très lacunaire du fonctionnement psychophysique de l'homme (FRAISSE, 1980).

Deux illustrations peuvent en être données. La première, empruntée à BLAKE (1971), est limitée à la portion diurne du nycthémère, entre 8h et 21h (figure 4). Les tâches considérées sont une tâche de vigilance auditive (repérer des sons plus longs dans une série de sons de durée constante), une tâche de calcul (addition de 5 nombres de 2 chiffres), une tâche de réaction de choix en série, une tâche de classement de cartes (en 2 ou 8 catégories) et un test de temps de réaction simple à cadence imposée. Ces tâches sont exécutées à 8h, 10h 30, 13h, 15h 30, et 21h, et l'on constate une allure générale commune: accroissement sur la journée avec un creux à 13h. On retiendra ici principalement que pour le temps de réaction, la performance est maximale dès 15h 30 et conserve à peu près cette valeur à 21h, tandis que pour le test de calcul et de tri de cartes, la performance à 15h 30 n'atteint encore que le tiers de l'écart entre sa valeur à 8h et sa valeur à 21h, et qu'elle est encore à peu près au même niveau qu'à 13h. Pour le test de vigilance, la performance à 15h 30 est supérieure à celle de 13h, mais n'est encore qu'à la moitié de l'écart entre les valeurs de 8h et 21h. On notera également que pour le temps de réaction de choix, contrairement aux autres tests, il y a décroissance matinale dès 8h.

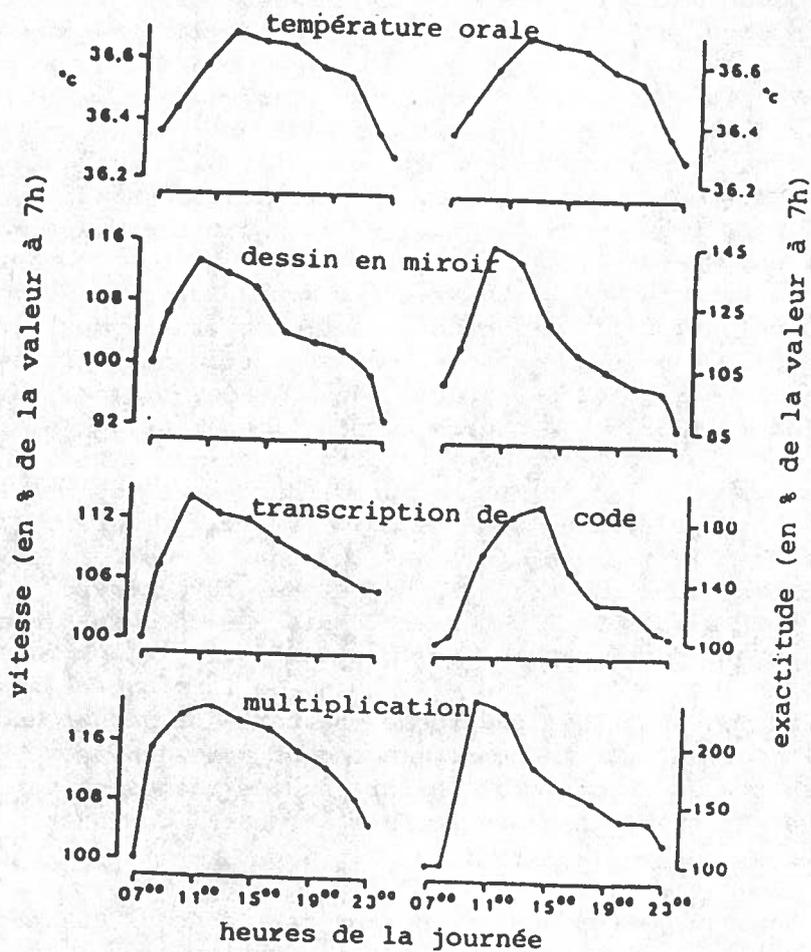


FIGURE 5.: Variations journalières de la température corporelle et de la performance exprimée par la rapidité (courbes de gauche) et la précision (courbes de droite) des réponses à 3 tests psychométriques.
KLEITMAN, 1963.

Le second exemple, tiré de KLEITMAN (1963), concerne les performances d'un même sujet, mesurées pendant 20 jours, pour trois des tâches utilisées par cet auteur: dessin en miroir, transcription de code, et multiplication (figure 5). La performance est mesurée dans les trois cas par un indice de vitesse et un indice d'exactitude. Pour ce qui concerne la vitesse, les maxima sont à peu près simultanés pour les trois tâches, avec un léger retard pour la multiplication. Mais pour ce qui concerne l'exactitude, la transcription de code est en retard de phase de 4h par rapport aux deux autres tâches, et à l'intérieur de cette même tâche, il y a un déphasage de 4 heures entre les performances maximales de vitesse et d'exactitude. On notera également que la montée de la performance est plus graduelle pour cette tâche de transcription, et que le dessin en miroir est la seule des trois tâches où la performance à 23h est descendue à un niveau inférieur à celui observé à 7h du matin.

Soulignons enfin les différences quant à l'amplitude: pour la vitesse, la performance maximale est supérieure de 10 à 20% à la valeur de référence de 7h, pour les trois tâches; pour l'exactitude, l'écart entre la valeur maximale de la performance et sa valeur à 7h est de 45% pour le dessin en miroir, 90% pour la transcription de code, et près de 150% pour la multiplication.

Mais l'attestation la plus extrême de la pluralité des rythmes circadiens est fournie par FOLKARD et MONK. Ces auteurs ont pu montrer en effet à plusieurs reprises une totale opposition de phase entre les performances à deux tâches de détection visuelle qui diffèrent seulement par le degré de mise en jeu de la mémoire. Ces tâches consistent à rechercher dans des séries de lignes constituées de 20 lettres au hasard, des lettres définies à l'avance, le nombre de lettres à reconnaître dans chaque ligne étant la seule différence entre les deux tâches: deux lettres dans un cas, six dans l'autre. Le graphique (figure 6) tiré d'une étude de MONK et EMBREY (1981), montre les variations circadiennes opposées des performances accomplies à ces deux tâches par les opérateurs d'une salle de contrôle d'une usine chimique, pratiquant un travail posté à rotation rapide, avec des postes de 12 heures. On constate sur ce graphique une opposition très nette entre les performances dans la tâche à faible charge mnémonique (2-MAST: performance maximale à 16h, minimale entre 5h et 8h) et dans la tâche à charge mnémonique élevée (6-MAST: performance maximale entre minuit et 4h).

La diversité des rythmes circadiens ne concerne pas seulement l'acrophase; elle se manifeste aussi par les vitesses d'ajustement aux changements d'horaires. Ainsi KLEIN et WEGMAN (1974) ont observé, au cours des jours suivant un vol transméridien, des différences dans la vitesse d'évolution de l'heure de la performance maximale, dans l'exécution d'une tâche de temps de réaction, d'une tâche de barrage de signes, et d'une tâche psychomotrice (figure 7). On notera que, pour les treize jours étudiés, les trois courbes ne sont pas parallèles, et que le déphasage est plus rapide pour le temps de réaction que pour le barrage de signe, lui-même s'ajustant plus rapidement que la performance psychomotrice. FOLKARD et coll. (1976, 1980) et MONK et coll. (1978) fournissent également un certain nombre de résultats tendant à montrer que les différents types de performance ont des rythmes circadiens qui diffèrent aussi quant à la vitesse d'ajustement à un nouvel horaire. Dans une expérience plaçant des sujets en situation d'horaire décalé de 3 heures pendant 10 jours, HUGHES et FOLKARD (1976) constatent que l'ajustement atteint au terme des 10 jours

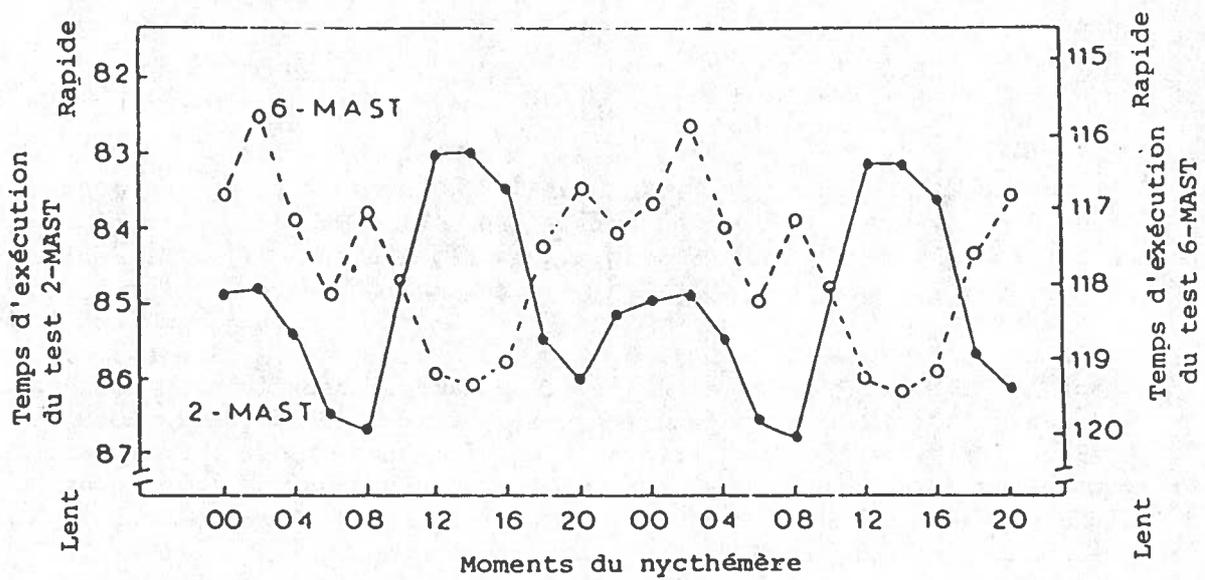


FIGURE 6.: Rythmes circadiens de la performance à une tâche à faible (2-MAST) ou à forte (6-MAST) charge mnémorique. MONK et EMBREY, 1981.

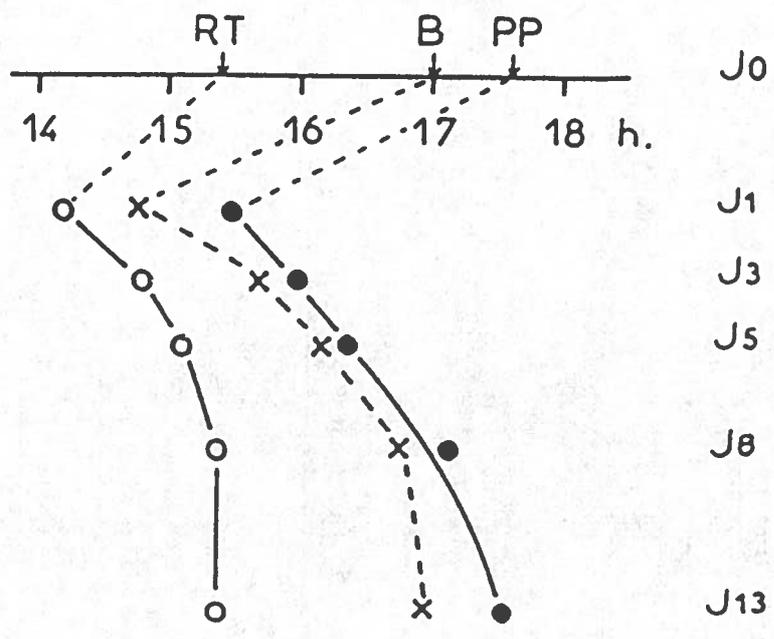


FIGURE 7.: Ajustement progressif de l'acrophase des différents rythmes de performance avant (J_0) et 13 jours après (J_1 à J_{13}) un vol transméri dien.
 B: test de barrage; PP: performance psychométrique; RT: temps de réaction.
 D'après KLEIN et WEGMAN, 1974.

UN MEME INDIVIDU. DES HOMMES DIFFERENTS
A DIVERS MOMENTS DE LA JOURNEE...

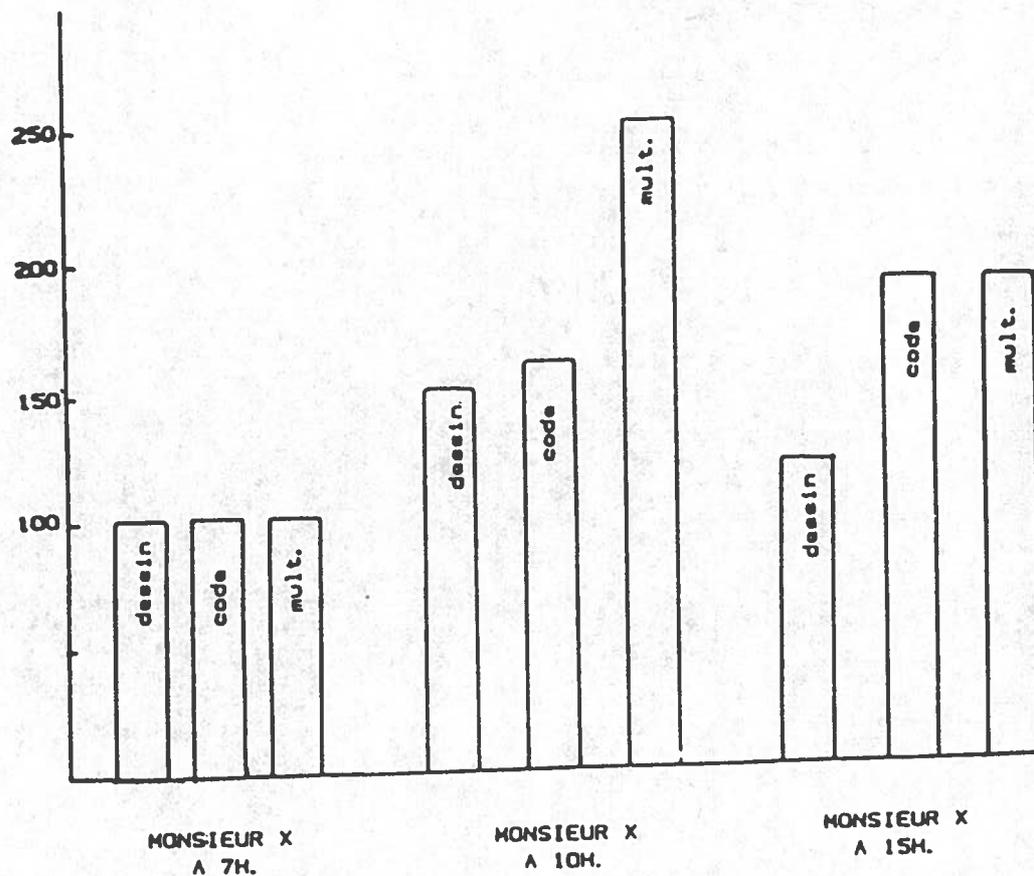


FIGURE 8.: Profil théorique des capacités d'un sujet impliquées par 3 types de tâches (dessin au miroir, transcription d'un code, multiplication) à 3 heures différentes de la journée. Inspiré des données de KLEITMAN, 1963.

est plus élevé pour les tâches dites cognitives et à composantes mnémoniques (addition et raisonnement verbal) que dans les deux tâches perceptivo-motrices (détection visuelle et dextérité manuelle). Dans une autre étude expérimentale, portant sur deux sujets novices soumis à un horaire de nuit pendant 21 jours consécutifs, on constate également une évolution plus rapide de la performance au test de détection visuelle à 6 lettres (forte charge mnémonique) qu'au même test à 2 lettres (MONK et coll., 1978). Dans une expérimentation en situation réelle de travail, FOLKARD et MONK (1980) ont en outre constaté un ajustement extrêmement rapide de la performance dans une tâche de mémoire immédiate, alors qu'il n'y a pas d'ajustement pour la mémoire à long terme dans la situation qu'ils ont construite.

L'ensemble de ces résultats conduit FOLKARD (1981) à proposer une synthèse qui oppose les tâches perceptivo-motrices aux tâches cognitives. Pour les premières, l'acrophase est diurne et l'ajustement, en cas de changement horaire, lent; dans les situations de travail de nuit, la performance devrait donc être mauvaise au départ et ne s'améliorer que lentement. A l'inverse pour les tâches cognitives, du moins pour celles à composante mnémonique importante, l'acrophase est nocturne et l'ajustement rapide; pour de telles tâches, dans les situations de travail de nuit, la performance serait donc bonne au départ, dès la première nuit, mais se dégraderait ensuite très rapidement. Cette construction théorique, dont le caractère antithétique ne manque pas de séduction, mérite de retenir l'attention, sans que l'on doive toutefois perdre de vue son statut largement hypothétique. FOLKARD (1981) conclut lui-même son article en soulignant que les conclusions qu'il avance doivent être considérées comme extrêmement provisoires, et qu'à l'heure actuelle la seule certitude est que le problème de la dégradation nocturne de l'efficacité est beaucoup plus complexe qu'on pouvait le penser jusqu'ici. Mais si la prudence est nécessaire au regard du petit nombre d'études réalisées dans cette perspective, reste néanmoins que l'idée de la pluralité des rythmes circadiens mis en jeu dans l'efficacité en situation réelle est une hypothèse de travail qui s'impose aujourd'hui. Comme le notent MONK et EMBREY (1981), il est sans doute "erroné de parler d'un unique rythme de la performance comme il le serait de parler d'un rythme physiologique unique puisque, comme les rythmes physiologiques, différents rythmes de performance peuvent avoir des phases distinctes et des vitesses d'ajustement diverses, selon la variable étudiée et la mesure utilisée".

2. Structuration des capacités, stratégies de travail et coût de l'activité

Par rapport à l'activité de l'opérateur face à sa tâche, cette diversité des rythmes circadiens des fonctions psychophysiologiques conduit alors à concevoir différemment l'altération nocturne des capacités de l'opérateur. Elle apparaît plus comme une réduction globale et uniforme de ses capacités, mais comme une modification différenciée conduisant à la mise en place d'un pattern nouveau de capacités. A partir des données de KLEITMAN (1963) sur les variations circadiennes des performances d'un même sujet à trois tâches, déjà évoquées précédemment, on peut dégager une illustration claire de cette idée. La figure 8 montre, en prenant comme base 100 les capacités de ce sujet à 7h du matin, combien ce même sujet présente un profil de capacités tout à fait différent à deux autres moments de la journée. Et l'on pourrait évidemment transposer à la nuit. Au vu de telles différences, on peut légitimement penser que ce même individu, placé devant une tâche donnée, ne fonctionnera certainement pas de la même manière aux différentes heures du jour et de la nuit.

Que le travailleur doive être considéré non pas simplement comme un individu aux capacités momentanément amoindries, mais aussi comme un individu qui fonctionne autrement, se trouve d'ailleurs attesté par des études de terrain telles que celle de DE TERSSAC, QUEINNEC et THON (1983), portant sur les opérateurs d'une salle de contrôle d'une usine de production d'ammoniaque. Le graphique emprunté à cette étude (*figure 9*) montre la fréquence relative d'utilisation de trois stratégies d'exploration visuelle du tableau de contrôle décrites par les auteurs. La fréquence relative d'utilisation de ces trois stratégies est différente selon les postes: en particulier la nuit se caractérise par une moindre utilisation des stratégies de prise d'information ponctuelle et une plus grande utilisation des stratégies de balayage.

La reconnaissance de la pluralité des rythmes de performance conduit d'autre part à réviser partiellement l'idée, pendant longtemps assez largement acceptée, d'un parallélisme entre le rythme de la performance et le rythme de la température centrale. Dès lors qu'il y a pluralité des rythmes de performance, il s'ensuit nécessairement que certains d'entre eux ne peuvent être corrélés avec le rythme de la température (FRAISSE, 1980). Des données attestant cette pluralité existaient dans la littérature depuis un certain temps (examinées par HOCKEY et COLQUHOUN en 1972, par exemple), mais sont restées sous-estimées ou négligées. Les travaux menés dans la ligne illustrée principalement par FOLKARD et MONK ont apporté des données nouvelles allant dans ce sens, et ont conduit à apporter plus d'attention à ces résultats anciens. Par ailleurs, l'idée d'un lien causal entre température et performance a été aussi mise en cause assez tôt (Rutenfranz et coll., 1972) et récemment la recension critique extrêmement fouillée des principaux travaux sur le lien température / performance, publiée récemment par WILKINSON (1982), conduit à tempérer très sérieusement les conclusions qui avaient été tirées de ces travaux. D'une part certains types de performance ont effectivement des rythmes circadiens parallèles à celui de la température, c'est vrai notamment des performances psycho-motrices; mais ce n'est pas le cas pour d'autres, en particulier pour les tâches de mémoire. D'autre part il semblerait que, pour les types de performance ayant un rythme parallèle à celui de la température, ce parallélisme ne vaudrait que dans des conditions nycthémérales stables. Dès lors qu'interviendrait un changement d'horaire, le parallélisme entre température et performance ne tiendrait plus.

La notion de diversité des rythmes circadiens des différents types de performance implique évidemment une analyse différenciée systématique de ces types de performance et de leur rythme. L'entreprise est à peine amorcée. Comme le soulignait récemment NAITOH (1982), "les connaissances concernant les rythmes circadiens de la mémoire, de l'attention, de l'humeur, des habiletés sensori-motrices, de l'acuité visuelle ou auditive, et de beaucoup d'autres fonctions psychologiques restent encore très imparfaitement établies. La tâche à venir de la chronobiologie comportementale sera de collecter des données sur les rythmes circadiens des capacités humaines fondamentales, et sur les capacités de les acquérir". Mais avancer dans cette voie supposera que soit résolu le problème d'une analyse plus systématique des tâches. On ne peut qu'être d'accord avec MONK et coll. (1978) déclarant que "pour l'étude des rythmes de performance dans le travail posté ou dans des vols transméridiens, il est impératif que les tests utilisés représentent une simulation significative de certains aspects de la tâche effectuée par le travailleur, plutôt que d'être choisis pour leur facilité d'administration ou de dépouillement". Reste qu'à l'heure actuelle l'analyse des tâches en des termes qui soient à la fois généralisables et opérationnels dans une situation particulière, n'a

été encore que très peu explorée, même si elle a donné lieu à un certain nombre de discussions (CHILES et coll., 1968; MINORS et WATERHOUSE, 1981). Mais il demeure essentiel que ce que nous enseignent d'ores et déjà la chronobiologie et la chronopsychologie sur la pluralité et la diversité des rythmes circadiens doit nous conduire dès maintenant à une analyse différenciée des variations circadiennes de l'opérateur en situation réelle de travail de nuit. Ces variations ne sont pas seulement quantitatives, mais qualitatives; l'efficacité n'est pas simplement plus ou moins élevée, elle est le produit d'une activité structurée différemment selon les heures; le coût pour l'opérateur n'est pas seulement plus ou moins grand, il peut être aussi qualitativement différent. Et en conséquence, au plan des aménagements, ce qui doit être développé c'est une conception différenciée des aménagements à apporter au travail posté, différenciation qui peut porter sur les dispositifs matériels, les aides au travail, mais aussi sur l'organisation temporelle des activités de travail, entre quarts, et à l'intérieur même des quarts.

IV. NATURE DU TRAVAIL ET ORGANISATION TEMPORELLE

Si différents auteurs soulignent que la définition de l'organisation temporelle du travail devrait tenir compte de la nature du travail effectué, force est de constater la non-application de ce principe dans la très grande majorité des travaux de synthèse sur le travail de nuit. Dans bien des cas, il n'est mentionné aucune référence aux tâches confiées aux opérateurs. Au mieux, le secteur industriel est précisé, comme si cela suffisait à définir le travail. De ce fait il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, de faire des inférences valides sur le rôle des interactions entre les exigences du travail et les types d'horaires dans la production des effets du travail de nuit.

Nous avons noté précédemment le caractère plus prégnant de la rythmicité circadienne dans des tâches de surveillance ou des travaux monotones; outre leur forte sollicitation des systèmes de traitement de l'information, ces tâches se caractérisent également par une restriction de l'activité motrice et/ou par leur situation d'attente d'évènements aléatoires nécessitant une réponse plus ou moins rapide. Plus que tout autres, ces tâches, souvent qualifiées de "tâches de vigilance", sont sensibles à la prolongation du travail, aux privations de sommeil, aux conditions générales d'ambiance, et aux caractéristiques de présentation de l'information. Par là, elles justifient des organisations du travail et des conceptions de poste spécifiques.

C'est ainsi qu'au terme d'une série de recherches portant sur divers secteurs industriels, BARHAD et PAFNOTE (1970) concluaient que pour les activités demandant des efforts physiques d'intensité moyenne ou forte, l'ajustement aux horaires de nuit survient rapidement tandis que sa mise en place requiert un plus grand nombre de jours dans le cas des opérateurs ayant une activité à prédominance psychosensorielle. De même, dans une enquête

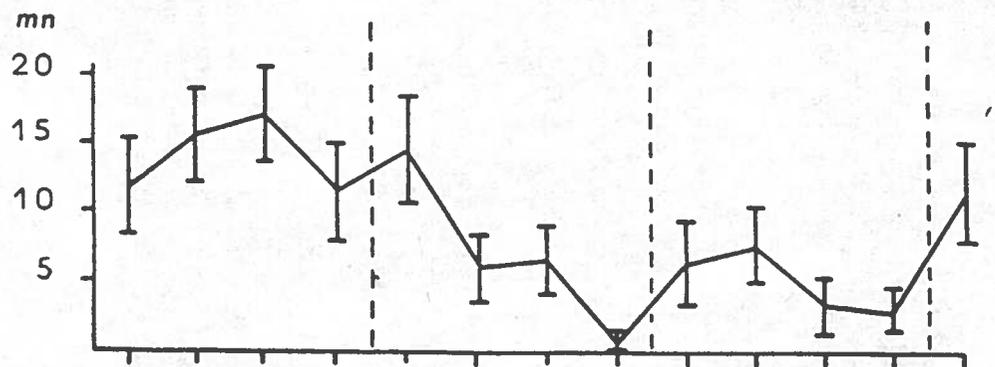
comparant des travailleurs soumis au même rythme de rotation, mais les uns ayant une tâche principalement physique et les autres une activité à exigences perceptives et mentales importantes, GUERIN et DURRMEYER (1973) constatent que - lors des changements de postes - les premiers se sentent adaptés au bout d'un ou deux jours, tandis que les seconds ont besoin d'un plus grand nombre de jours; les uns souhaitent une rotation plus rapide, les autres une rotation plus lente.

La convergence des conclusions entre ces deux études ne peut manquer de retenir l'attention, mais appellerait aussi une évaluation serrée. Au delà de la tendance commune, il conviendrait de mesurer l'exacte portée des différences constatées entre les deux catégories de situations de travail; ainsi, par exemple, on relèvera que si les ouvriers à charge mentale élevée sont moins nombreux à déclarer s'adapter facilement (35% contre 80%), et aussi moins nombreux à déclarer s'adapter dans un délai de deux jours (63% contre 80%), il reste cependant que - par rapport à ce deuxième indicateur - 2/3 d'entre eux s'adaptent dans le délai de 2 jours (GUERIN, 1977). D'autre part il serait nécessaire de pouvoir situer plus précisément les tâches effectuées. Une catégorisation en des termes tels que "tâche présentant une sollicitation psychosensorielle prépondérante" ou "travail à prédominance physique" est à l'évidence insuffisante. Au reste, même si c'est une catégorisation de ce type qui est employée dans les deux études évoquées ci-dessus, elle ne constitue qu'un résumé très appauvri des informations recueillies par leurs auteurs, et notablement plus détaillées que celles habituellement fournies dans les publications sur le travail posté. Ces informations ne sont toutefois pas encore suffisantes pour permettre a posteriori le traitement plus systématique et plus fin qui devrait constituer une orientation nécessaire pour l'avenir.

En l'état actuel des choses, ce que l'on doit retenir essentiellement c'est le fait même de la différenciation entre les types de tâches, différenciation qui nécessite de manière pressante des analyses plus nombreuses et plus approfondies. Plus approfondies dans les directions que nous avons déjà indiquées, plus approfondies également par une prise en compte de l'insertion de l'activité du travailleur dans le fonctionnement d'ensemble du système socio-technique, avec toute la variabilité que peut comporter ce fonctionnement.

V. VARIABILITE DES EXIGENCES ET REGULATION DE L'ACTIVITE.

Nous avons précédemment évoqué l'hypothèse implicite qui vise à considérer que les équipes qui se succèdent à un même poste de travail effectueront la même tâche, et de la même façon. Une hypothèse complémentaire, toujours aussi implicite, amène à l'idée d'une bonne stabilité des exigences de la situation. L'analyse du travail réel révèle la fragilité de ces deux hypothèses. Déjà l'absence de certains services de nuit (entretien par exemple) ou le report de certaines tâches dans la journée, ou la présence d'un encadrement différent la nuit, sont autant d'éléments qui plaident en faveur d'une hétérogénéité du travail de jour et du travail de nuit. Ainsi, en milieu hospitalier, la limitation du corps médical à un interne, commun parfois à plusieurs services, rend plus difficile l'accès de l'infirmière à la compétence du médecin et, par là, contribue à accroître sa responsabilité, mais aussi sa charge de travail, la nuit. Cependant, l'hétérogénéité du travail de

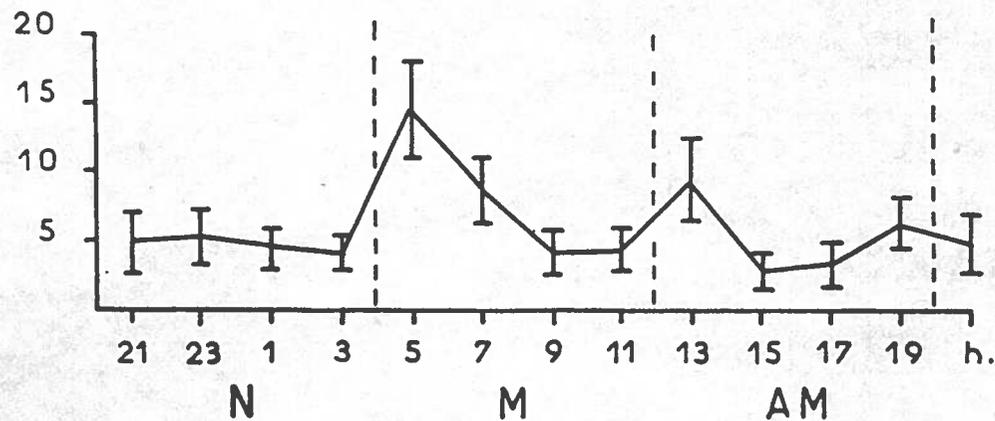


LE NP

FIGURE 10.:

Moyennes horaires des temps consacrés à la lecture et à l'écriture imposées (LEP) ou non (LENP) par la tâche chez des opérateurs de contrôle de processus travaillant en horaires alternants, avec changements de quart à 4h, midi et 20h.

D'ARTENSAC et DELFINO, 1983.



LE P

jour et du travail de nuit peut également provenir des variations des exigences. Ce phénomène apparaît clairement dans les données de BROWNE (1949) sur les opératrices du télex. De même, en milieu hospitalier, la suspension de certains actes de soins la nuit, mais à l'inverse le nombre plus élevé de malades à surveiller, et leur anxiété plus forte la nuit, contribuent l'une à réduire, les autres à élever le niveau d'exigences nocturnes (GADBOIS, 1980).

On ne saurait bien entendu se contenter de dresser un constat de la variabilité des exigences. Il convient de rechercher les incidences de cette variabilité sur l'activité des opérateurs. Dans de nombreuses situations, ceux-ci disposent d'une certaine latitude. Ainsi, des opérations peuvent être différées dans le temps (ou au contraire anticipées). D'autres se cumulent à un moment donné. Des substitutions ou des transferts d'activité sont opérés. Enfin, vitesse ou précision, production ou sécurité, peuvent l'emporter. On reconnaît bien là l'existence de régulations intraindividuelles déjà bien décrites pour le travail de jour. En ce qui concerne le travail de nuit, dans le contrôle de processus de l'industrie chimique, on constate (*figure 10*) que le matin ou l'après-midi, les opérateurs effectuent, dès le début du poste, certaines tâches de lecture ou d'écriture nécessitées par leur travail (préparation du livre de bord, lecture de consignes, relevés divers, signature du cahier de présence, etc...), alors que la nuit ces activités sont plus également réparties dans le temps (D'ARTENSAC et DELFINO, 1983). On remarquera que cette anticipation des activités de Lecture-Ecriture Professionnelle ne saurait être simplement ramenée à une difficulté à lire ou à écrire la nuit, puisqu'à l'inverse le temps consacré à la lecture et à l'écriture non-professionnelles est bien plus important en période nocturne. Des phénomènes analogues de gestion des tâches ont été décrits en milieu hospitalier par ESTRYN-BEHAR (1983). Cette relative souplesse des tâches à effectuer peut permettre aux opérateurs d'ajuster les exigences des tâches à leur capacité fonctionnelle momentanée. Inversement, divers éléments, soit prévisibles, soit aléatoires (incidents notamment), nécessitent une réponse immédiate et vite efficace. Ils contribuent alors à accroître fortement la charge réellement supportée par les opérateurs, d'autant que l'on évalue encore mal le coût du passage d'un état de faible activité à un état de mobilisation active. Ceci peut être illustré soit par la traduction au plan de l'activité locomotrice des conséquences des fluctuations de la production entre quarts successifs dans un atelier de l'industrie chimique (D'ARTENSAC et DELFINO, 1983) soit encore par les répercussions sur l'activité de surveillance de la survenue d'incidents signalés par des alarmes sonores et lumineuses en salle de contrôle (QUEINNEC et de TERSSAC, 1984). Compte tenu de l'écart important qui apparaît la nuit, on est en droit de penser que le coût de l'élévation brutale de l'activité sera majoré. Celui-ci sera d'autre part plus ou moins élevé selon que le sujet sera préparé ou non à faire face à l'accroissement des exigences. De ce point de vue, le maintien d'un certain nombre de tâches la nuit peut permettre de lutter efficacement contre l'endormissement. Ceci revient à dire que la tendance visant à reporter systématiquement les tâches différables sur les postes de jour doit être nuancée si elle ne s'accompagne pas d'une redéfinition des fonctions confiées aux opérateurs.

VI. REGULATIONS INTER-INDIVIDUELLES AU COURS DU TRAVAIL DE NUIT.

Jusqu'à présent nous avons raisonné implicitement comme si les opérateurs occupaient leurs postes de travail de façon isolée. Les recherches conduites sur le travail de nuit ont très généralement fonctionné sur ce postulat.

Dans quelques cas, cette situation est admissible, mais dans l'immense majorité des situations professionnelles, ce postulat est faux dans la mesure où les membres d'une équipe (plus ou moins restreinte) gèrent en commun les différentes tâches à effectuer. Le prélèvement sur une ou plusieurs personnes prises isolément, d'indices biologiques ou psychophysiologiques (par autorythmométrie ou télémétrie, par exemple) conduit à l'idée que l'équipe présente la rythmicité circadienne qui affecte chacun de ses membres. Comme si le tout était ramenable à la somme des parties ! En réalité les interactions entre membres présents à un horaire donné viennent moduler et parfois annihiler l'impact des rythmes individuels. La distribution horaire des accidents routiers (HARRIS, 1977) en fournit un intéressant modèle. En effet, quand l'accident ne met en cause que le seul véhicule d'un camionneur, les accidents sont bien plus nombreux la nuit alors que la circulation est moins dense. Par contre, quand deux engins sont concernés par l'accident, la rythmicité circadienne n'est plus observée et la fréquence d'accidents devient proportionnelle à la densité de la circulation. De même, les résultats de FOLKARD, MONK et LOBBAN (1978) sur la distribution horaire de 1854 incidents survenus en hôpital font apparaître deux pics (22h et 8h) liés aux exigences propres aux malades. Par ailleurs, ces mêmes auteurs précisent qu'il n'est pas possible de distinguer ce qui revient aux variations de vigilance de l'équipe médicale de ce qui résulte des variations de la "prédisposition aux accidents" des malades. Dans les deux derniers exemples évoqués ci-dessus, l'interaction entre les sujets relève plus de variations des conditions d'exécution du travail que de régulations internes à l'équipe comme c'est le cas dans l'étude de QUEINNEC et coll. (1981) relative à l'activité réelle de contrôleurs de processus, travaillant en 3x8 selon une procédure de quarts brisés (rotation continentale) : la présence d'un contrôleur supplémentaire supprime la rythmicité circadienne de l'activité de surveillance dans des équipes comportant normalement deux opérateurs en salle de contrôle (*figure 11*). Ceci revient à dire que, selon l'expression de NAVILLE (1961), "la distribution mobile des fonctions", autorisée par un nombre suffisant de personnes dans une équipe de travail, permet à tout opérateur de subir la pression de sa propre rythmicité, sans pour autant que l'activité globale de l'équipe en souffre. Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux de CHILES, ALLUISI et ADAMS (1968), qui montrent que des sujets placés dans une cabine spatiale conservent leur rythme circadien de température corporelle, mais non celui de la performance qui reste stable sur l'ensemble du nyctémère, et ceci pendant au moins 30 jours, bien que les sujets travaillent 12 heures par jour, mais à raison de 4 heures de travail suivies de 4 heures de repos. Ceci n'est plus vrai si les 4 heures de travail ne sont suivies que de 2 heures de repos.

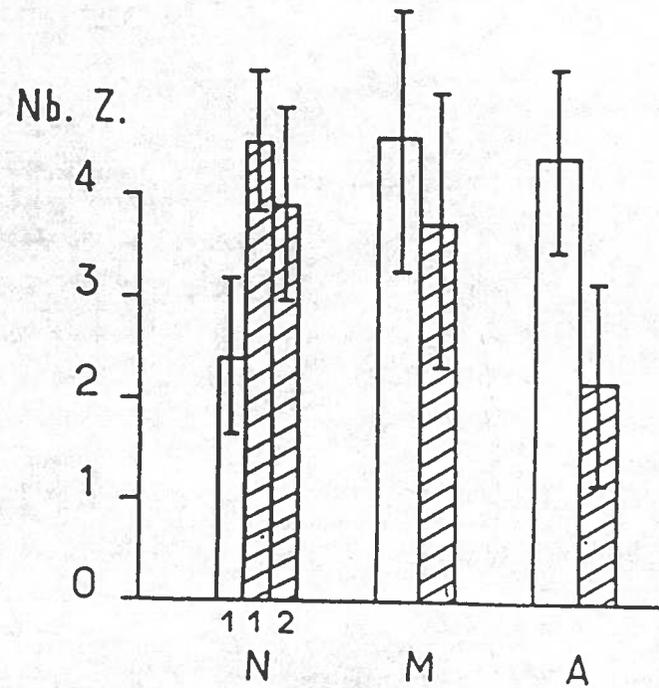
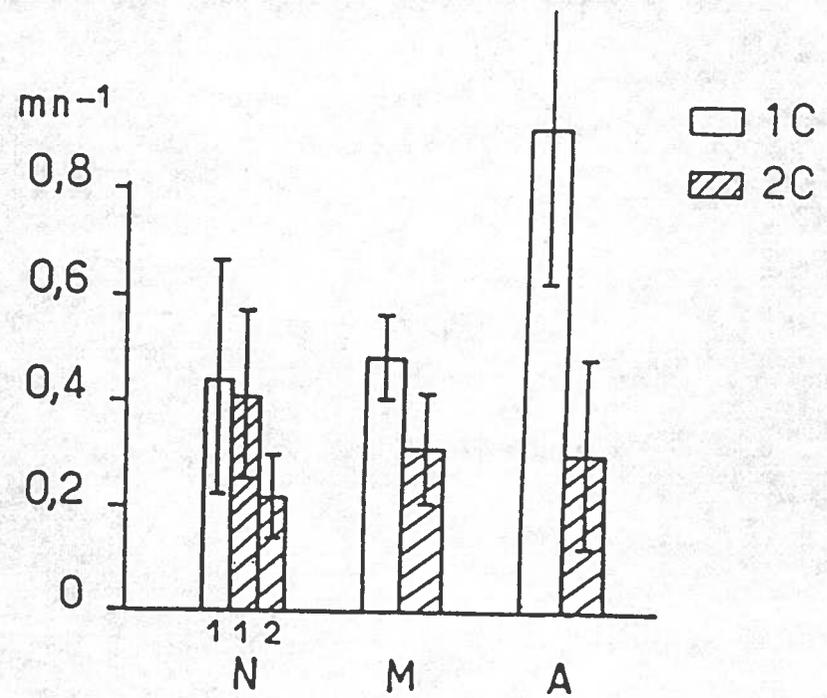
Nous avons déjà mentionné que la présence ou l'absence du personnel de jour (entretien, hiérarchie) contribuent à modifier les conditions de réalisation du travail. En fait, la simple présence d'équipiers peut plus ou moins fortement moduler le comportement des opérateurs. Ainsi la présence en salle de contrôle de processus chimique du deuxième opérateur ou d'un équipier extérieur réduit sensiblement, la nuit, le temps consacré à la lecture par les contrôleurs (*figure 12*). Elle l'accroît fortement le matin, et est pratiquement sans effet l'après-midi (D'ARTENSAC et DELFINO, 1983). Ces constatations valent également pour d'autres indicateurs comportementaux, tels que l'activité locomotrice ou posturale (D'ARTENSAC et DELFINO, 1983) ou même l'activité de surveillance (DE TERSSAC, 1981; DOREL, 1983). Ainsi, la fréquence des regards en direction d'une zone informationnelle dans la salle de contrôle d'un processus, le nombre de zones explorées, ou l'organisation des procédures de surveillance, sont modulés à la fois par l'heure et par la présence ou l'absence du coéquipier (*figure 13*).

FIGURE 13.: Comparaison de l'activité de surveillance de contrôleurs de processus en horaires alternants.

Les histogrammes supérieurs représentent la fréquence moyenne des regards dirigés vers diverses zones informationnelles (23) de la salle de contrôle. Ceux du bas indiquent le nombre moyen de zones visitées au cours d'une séquence d'exploration visuelle.

(1C=un seul contrôleur est présent en salle de contrôle; 2C=deux contrôleurs présents; N,M,A=factions de nuit, de matinée ou d'après-midi; 1=première moitié de la nuit; 2=seconde moitié. On notera qu'un contrôleur n'est jamais seul dans la seconde moitié de l'annuit).

QUEINNEC et coll., 1983 b.



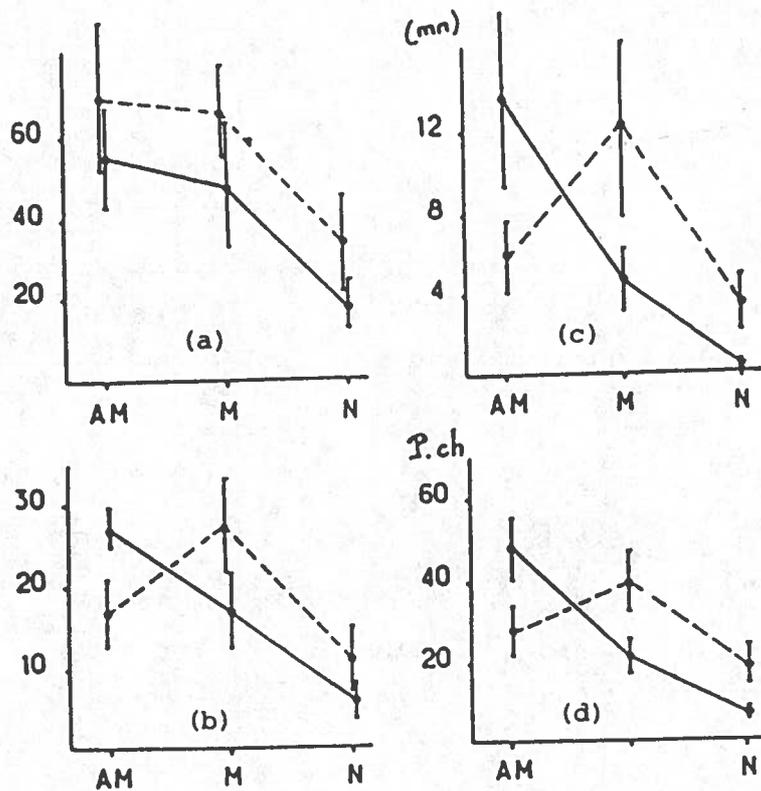


FIGURE 14.: Valeurs moyennes des indices retenus, lors de la première faction (trait continu) ou lors de la seconde faction (trait interrompu) d'un quart donné (AM=après-midi; M=matin; N=nuit)

a) Fréquence horaire moyenne des regards en direction des indicateurs de la salle de contrôle;

b) Fréquence horaire d'interventions sur le dispositif technique;

c) Durée moyenne horaire du temps passé à marcher dans la salle de contrôle; (en minutes)

d) Fréquence horaire des changements de position des opérateurs.

D'après DOREL et QUEINNEC, 1980.

Dans une situation de contrôle de processus hautement automatisée (production d'eau potable), DOREL et QUEINNEC (1980) montrent qu'"un partage informel des tâches" existe entre les deux contrôleurs affectés à la salle de contrôle (figure 14). Ceux-ci effectuent leur travail en continu selon un régime de rotation rapide (2/2/2), avec prises de poste à 6h, 12h et 20h (6-8-10), mais avec décalage de la rotation: quand un équipier est en première nuit, matinée ou après-midi, l'autre effectue sa seconde nuit, matinée ou après-midi. L'analyse comportementale révèle que l'opérateur qui effectue sa seconde matinée ou nuit surveille plus que son coéquipier, et que son activité générale est plus élevée. Ces différences observées proviennent soit de l'intervalle qui sépare deux périodes de travail (le matin), soit de l'existence d'une période de repos (3 jours) à l'issue de la seconde nuit. Elles reflètent une répartition hétérogène du travail entre les deux opérateurs sur la base, non du statut ou de l'expérience professionnelle, mais bien de régulations d'origine chronopsychologique.

En résumé, le partage des tâches (formel ou informel) dans une équipe, les glissements de fonction qui s'opèrent, notamment la nuit, mais aussi les effets de la simple présence de coéquipier(s), sont autant de facteurs susceptibles d'interférer avec les rythmes biologiques. Ce type de question est fondamental dans l'optique de la définition de la taille des équipes. Elle heurte la tendance à la réduction des effectifs la nuit, mais elle permet par ailleurs d'envisager diverses procédures d'aménagement des horaires. En effet, il est parfois possible de rallonger la durée des postes de nuit en échange d'un raccourcissement du poste de matinée, ou l'inverse, quand la taille des équipes, leur composition, et la nature de l'activité autorisent une réelle "gestion mobile des fonctions" avec un coût acceptable. (KNAUTH et RUTENFRANZ, 1982).

VII. LE TRAVAILLEUR DE NUIT, MYTHE ET REALITE:

CARACTERISTIQUES DES POPULATIONS.

On ne saurait conclure cet examen des données concernant le travail réellement effectué la nuit sans aborder les aspects relatifs aux spécificités des diverses populations concernées. Si le problème des différences inter-individuelles constitue l'une des lignes de force des recherches actuelles sur le travail posté, il est surprenant de constater que, généralement, seules les caractéristiques biologiques et physiologiques des travailleurs étudiés sont prises en considération, et encore se limitent-elles trop souvent à des individus mâles, dont on précisera parfois le poids, la taille, plus souvent l'âge et/ou l'ancienneté, mais rarement la qualification, l'emploi occupé, la situation familiale, le statut dans l'entreprise, ou l'appartenance à telle ou telle catégorie sociale. On sait pourtant que ces éléments déterminent en grande partie la tolérance ou la non-tolérance au travail de nuit et notamment, selon la terminologie proposée par HAIDER et coll. (1981), la susceptibilité du passage de la phase "d'adaptation" à la "phase de sensibilisation", puis à la "phase d'accumulation". En réalité, le problème du poids des caractéristiques individuelles est plus complexe qu'il n'y paraît. D'une part l'ajustement ou le non-ajustement des rythmes biologiques - et en premier lieu celui de la température - reste très controversé. D'autre part, le lien entre ajustement à court terme et adaptation à long terme est loin d'être clairement démontré. Sans entrer dans la polémique qui sépare les partisans des "déterminants endogènes" (TEPAS, 1982), qui privilégient l'approche chronobiologique, et ceux des "déterminants exogènes", qui

privilégient les facteurs environnementaux, il convient de rappeler que :

a) le travail de nuit est un problème multidimensionnel, dont on connaît assez bien le champ des variables, mais non le poids spécifique de chaque variable (FOLKARD et coll., 1979; TEPAS, 1982);

b) le problème de l'adaptation est sans doute un faux problème, dans la mesure où le caractère anormal du travail de nuit ne peut, dans le meilleur des cas, qu'entraîner un changement des travailleurs pour surmonter leur handicap;

c) enfin, dans toutes les situations professionnelles, mais plus encore lors d'activités nocturnes, il convient de gommer la dichotomie vie de travail / vie hors-travail et, comme le souligne GADBOIS (1981), de ne pas perdre de vue qu'il n'est pas évident que les heures de travail qui sont satisfaisantes d'un point de vue physiologique le seront également du point de vue des activités hors-travail. La situation du personnel féminin travaillant la nuit en fournit des exemples particulièrement démonstratifs.

Il existe peu d'arguments faisant état de différences entre les sujets de sexes différents, en ce qui concerne la rythmicité circadienne des variables physiologiques ou des performances psychométriques. Les travaux expérimentaux (AKERSTEDT et coll., 1977; HALBERG et coll., 1977; WOJTCZAK-JAROSZOWA, 1976 et ENGLUND, 1979) comme les études de terrain (BROWNE, 1949; FOLKARD et coll., 1978) s'accordent sur ce point. Néanmoins, la situation familiale (célibataire ou pas, présence d'un ou plusieurs enfants au foyer,...) constitue un facteur souvent aggravant des contraintes du travail de nuit. Ainsi, selon PIERS et coll. (1979) ou GADBOIS (1981), les femmes mariées et ayant au moins un enfant dorment, le jour, environ 1h 30 de moins que les célibataires. Le déficit est encore plus marqué quand il s'agit de mères avec des nourrissons. Par ailleurs, l'inégal partage des tâches ménagères entre les conjoints contribue également à accroître le poids des contraintes des horaires de travail nocturnes pour le personnel féminin, et la charge globale de travail supportée. Ces divers éléments de la situation hors-travail, auxquels s'ajoute le sentiment accru d'insécurité lors de déplacements à certaines heures, doivent être pris en compte lors de l'aménagement des horaires de travail et de la prescription des tâches.

De telles attentions sont également nécessaires en ce qui concerne les travailleurs vieillissants. Il n'est pas facile, au sein de la littérature existante, de dégager clairement les rôles respectifs du vieillissement inéluctable de l'organisme, de l'ancienneté en travail posté, du travail de nuit, des conditions environnementales et de la nature des tâches effectuées. Comme le souligne FORET (1977), à propos des troubles de sommeil, "le vieillissement modifie très probablement la sensibilité aux rotations de poste". De même, selon CHAZALETTE (1973), ANDLAUER et FOURRE (1965) ou ANDLAUER et coll. (1977), le vieillissement du travailleur posté favorise le passage à la chronicité de la "fatigue mentale professionnelle". Dans une perspective chronobiologique, on peut souligner que divers auteurs insistent sur la perturbation des rythmes circadiens avec l'âge et/ou l'ancienneté : ajustement plus lent chez les sujets âgés (REINBERG, ANDLAUER et VIEUX, 1981), niveau moyen inférieur et réduction d'amplitude des rythmes, position des acrophases plus variable (SCHEVING et coll., 1974; MINORS et WATERHOUSE, 1981).

D'un autre point de vue, le vieillissement des diverses fonctions biologiques et psychophysiologiques (LAVILLE et coll., 1975; BOURLIERE et PACAUD, 1981) contribue à accroître le coût de travaux trop souvent conçus pour des sujets jeunes. De ce point de vue, les activités mentales de plus en plus intenses au cours du travail posté accroissent les difficultés du sommeil consécutif (WISNER, 1981), et de ce fait pénalisent d'autant les

travailleurs vieillissants. En effet, comme le signalent VLADIS et PAVARD dans DURAFFOURG et coll. (1982), la durée de l'endormissement est proportionnelle, chez des journalistes d'une agence de presse, à la charge préalable de travail (estimée par la durée consacrée, dans les dernières heures du poste de nuit, à traiter les dépêches). Des tâches bien analysées mériteraient une plus grande attention de la part des chercheurs, et une plus grande prudence de la part des praticiens confrontés au problème de l'organisation du travail de nuit.

Enfin, on ne saurait oublier que l'appartenance à telle ou telle catégorie sociale, les différences culturelles ou religieuses, sont autant de facteurs qui viennent moduler les attitudes vis à vis du travail de nuit. Le développement de recherches dans les pays en voie de développement devrait dans un proche avenir permettre de mieux cerner cette dimension du problème.

CONCLUSION

Des rapports entre rythmicités circadiennes et travail de nuit, deux grands thèmes se dégagent. Le premier relève essentiellement de la recherche. Il constitue un préalable à toute politique d'aménagement des conditions du travail de nuit. Le second, plus directement en prise avec les pratiques sociales, concerne les modalités d'élaboration et de mise en oeuvre de propositions répondant aux attentes des personnes concernées et à la sauvegarde de leur intégrité physique et mentale.

I.1. Il est bien établi que les divers rythmes circadiens qui affectent le fonctionnement de notre organisme confèrent à l'homme une véritable "structure temporelle" (REINBERG, 1974), et non une simple variation quantitative de ses capacités. La rythmicité de fonctions étudiées séparément a parfois conduit à l'idée simplificatrice d'une réduction globale de l'efficacité nocturne. En fait, le déphasage des différents rythmes se traduit tout au long des 24 heures par des changements progressifs du profil fonctionnel d'un individu.

Cependant, si la validité de cette perspective peut être aujourd'hui considérée comme acquise, bien des questions qu'elle conduit à poser sont encore actuellement sans réponse. En particulier, on est loin de disposer d'un corps de données systématiques qui permettent de constituer un "atlas temporel" précis, détaillé et relativement complet en ce qui concerne la chronopsychologie. Le développement des recherches dans les années à venir devrait viser à combler cette lacune. En tout état de cause, si les réponses font, pour l'heure, partiellement défaut, du moins convient-il de ne pas méconnaître la question.

I.2. Les résultats obtenus dans des tâches simples et souvent brèves, ou l'évaluation de l'activité nocturne au travers des seuls indicateurs de performance, réduisent trop souvent l'homme en activité à une "machine chronobiologique". Les recherches menées sur l'analyse des conduites de travail en situations réelles mettent toutes l'accent sur la modulation des rythmes de base entraînée par la recherche de compatibilité entre le niveau des capacités et le niveau des exigences. En fonction des objectifs qui lui sont assignés, du pattern de ses capacités et des conditions de réalisation de la tâche, l'opérateur humain développe à toute heure des stratégies lui permettant de réaliser son travail (même au prix d'une élévation du coût de l'activité, ou par la mise en oeuvre de procédures non attendues). Dans cette perspective, les recherches à venir devraient permettre de mieux connaître l'impact de la rythmicité circadienne en fonction de 3 types de conditions qui n'ont été que fort peu prises en compte jusqu'ici :

- a) modalités de sollicitation des fonctions psychophysiologiques dans les conditions habituelles du travail, c'est à dire dans le cadre de tâches relativement complexes, impliquant la mise en jeu simultanée et interactive de plusieurs de ces fonctions;
- b) niveau de mobilisation des capacités de l'opérateur, et marges de modulation des variations circadiennes en fonction d'un accroissement délibéré de cette mobilisation;
- c) possibilité de gestion mobile des tâches sur l'ensemble de la durée du poste ou entre opérateurs d'une même équipe.

L'analyse systématique de ces conditions serait précieuse, non seulement du point de vue de l'efficacité, mais aussi pour la compréhension du coût pour l'opérateur et des effets à long terme du travail de nuit, dans la mesure où l'on peut penser avec TEIGER et coll. (1982) - sur la base de leur étude de la morbidité/mortalité des travailleurs de la presse - "que le travail de nuit jouerait un rôle sensibilisateur et potentialisateur des contraintes du travail avec lesquelles il interagit".

II.1. D'un point de vue pratique, les conceptions développées ci-dessus conduisent à s'interroger sur la réalité des travaux de nuit : quelles tâches ? quelles fonctions sollicitées ? dans quelles conditions ? par qui ?... La réponse à ces questions est indispensable pour rechercher le, ou les compromis pouvant seuls conduire à un aménagement aussi acceptable que possible des horaires de nuit. Ces interrogations (et bien d'autres) contribuent à élargir la problématique de l'aménagement du travail de nuit et rendent insatisfaisantes les solutions limitées a priori aux horaires de début et de fin de poste, au nombre de factions successives (c'est à dire au type de roulement), à la distribution des périodes de repos à l'intérieur et entre les factions... En d'autres termes, il ne paraît guère possible de se cantonner à l'étude de l'enveloppe temporelle sans en examiner le contenu. Compte tenu de la diversité des situations de travail, il apparaît dès lors, comme le souligne FOLKARD (1981) par exemple, "qu'il n'y a pas un seul bon système de travail de nuit", ou encore "qu'il est impossible de construire un seul système de travail posté qui soit optimal pour tous les travailleurs et pour toutes les conditions de travail et de vie" (RUTENFRANZ et coll., 1981). Au delà de ce constat, il reste à mettre en oeuvre un cadre d'analyse systématique des conditions de travail de nuit impliquant l'articulation des orientations dégagées ci-dessus et susceptibles de déboucher sur une solution aussi globale que possible.

II.2. La sous-estimation de la multiplicité des rythmes circadiens et de la reconfiguration quasi-permanente des potentialités humaines est génératrice de l'illusion qui consiste à supposer qu'en cas de besoin urgent ou impérieux, le travailleur de nuit pourra "vaincre ses rythmes" et passer outre. Ainsi, on confie à des automatismes, estimés plus fiables, des tâches de plus en plus complexes en reléguant - théoriquement - l'opérateur au rang de "pompier de service", mais dans le même temps, et ceci justifie sa présence, les fonctions confiées à ce superviseur en font un "calculateur de secours" devant rapidement et efficacement intervenir en cas de défaillance des automatismes. Comme si l'opérateur humain n'avait pas besoin de se préparer en permanence à l'éventualité de ses interventions, comme s'il était programmé pour faire face, à tout moment, à toutes les situations. L'instabilité de son fonctionnement ne peut plus être ignorée, et la généralisation du fonctionnement individuel ne peut plus être acceptée dès que plusieurs individus interviennent conjointement. Le problème posé est donc aussi celui du développement d'aides au travail, de présentation et de gestion de l'information, de procédures compatibles avec les possibilités du travailleur de nuit, bref, celui des moyens comme des conditions de la fiabilité humaine. Corollairement, faut-il le souligner, bien que le bilan présenté ici n'ait pu être focalisé sur ces aspects, la réflexion sur les moyens de réduire les répercussions au plan de la santé et de la vie hors-travail doit s'élargir en s'inscrivant dans les mêmes perspectives. C'est bien en effet l'ensemble du problème posé par le travail de nuit qui appelle une approche compréhensive fortement pluridisciplinaire, au plan de l'analyse, et une démarche intégrée dans la conception des systèmes de travail et d'horaires.

BIBLIOGRAPHIE

- AKERSTEDT, T., FROBERG, J., (1977).- Psychophysiological circadian rhythms in women during 72h of sleep deprivation, Waking and sleeping, 1, 387-394.
- AKERSTEDT, T., FROBERG, J., (1977).- Psychophysiological circadian rhythms in women during 72h of sleep deprivation, Waking and sleeping, 1, 387-394.
- AKERSTEDT, T., FROBERG, J., LEVI, L., TORSVALL, L., ZAMORE, K. (1977).- Shift work and well-being, Report No 63 of Lab. Clin. Stress Res., Karolinska Institute, Stockholm;
- ANDLAUER, P., CARPENTIER, J., CAZAMIAN, P. (1977).- Ergonomie du travail de nuit et des horaires alternants, Cujas, Paris, 272 pages.
- ANDLAUER, P., FOURRE, L. (1965).- Le travail en équipes alternantes, Revue française du travail, 1965, oct.-dec., 35-50.
- BARHAD, B., PAFNOTE, M. (1970).- Contribution à l'étude du travail en équipes alternantes, Le Travail Humain, 33, 1-2, 1-20.
- BJERNER, B., HOLM, A., SWENSSON, A. (1955).- Diurnal variation in mental performance, a study of three shift-workers, British J. Indust. Medicine, 12, 103-110.
- BLAKE, M.J.F. (1967).- Time of day effects on performance in a range of tasks, Psychonomic Sciences, 9, 349-350.
- BLAKE, M.J.F. (1971).- Temperament and time of day, in COLQUHOUN, W.P. 'Biological rhythms and human performance', Academic Press, Londres, p109-148.
- BOURLIERE, F., PACAUD, S. (1981).- Travail et vieillissement, in SCHERRER, J., Précis de Physiologie du travail, Masson, Paris, p540-570.
- BROWNE, R.C. (1949).- The day and night performance of teleprinter switchboard operators, Occupational Psychology, 23, 121-126
- CARTER, F.A., CORLETT, E.N. (1982).- Travail posté et accidents. Rapport. Fondation Européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail. Dublin. 157p.
- CHAZALETTE, A. (1973).- Etude sur les conséquences du travail en équipes alternantes, Groupe de sociologie urbaine, LYON, 164p.
- CHILES, W.D., ALLUISI, E.A., ADAMS, O.S. (1968).- Work Schedules and performance during confinement, Human Factors, 10, 2, 143-195.
- COLQUHOUN, W.P. (1971).- Biological rhythms and Performance, Academic Press, Londres, 283p.
- CZEISLER, C., MOORE-EDE, M.C., COLEMAN, R. (1982).- Rotating shift work schedules that disrupt sleep as improved by applying circadian principles, Science, 217, 460-462.
- D'ARTENSAC, D., DELFINO, E. (1983).- Organisation de l'activité d'opérateurs humains places en situation de surveillance d'un processus à feu continu. Mémoire, Université de Toulouse, 73 pages.
- DE TERSSAC, G. (1981).- Mécanismes régulateurs au sein de L'organisation du travail, Thèse III cycle, Université Paris VII, 21p.
- DE TERSSAC, G., QUEINNEC, Y., (1983).- Evolution du controle de processus: incidences sur l'activité des opérateurs humains. In Techniques nouvelles et ergonomie (à paraître).
- DE TERSSAC, G., QUEINNEC, Y., THON, P. (1983).- Horaires de travail et organisation de l'activité de surveillance, Le Travail Humain, 46, 1, 65-79.

- DOREL, M. (1983).- Le travailleur à horaires alternés et le temps, thèse III cycle, Université de Toulouse, 273 p.
- DOREL, M., QUEINNEC, Y. (1980).- Régulation individuelle et interindividuelle en situation d'horaire alternant. Bulletin de Psychologie, 33, 344, 465-471.
- DURAFFOURG, J., GUERIN, F., PAVARD, B., DEJEAN, P., LAUNAY, F., PRETTO, A., VLADIS, A., (1982).- Informatisation et transformation du travail. Réorganisation d'une salle de rédaction, ANACT, Montrouge, 162p.
- ENGLUND, C.E. (1979).- The diurnal function of reading rate, comprehension and efficiency, Chronobiologia, 6, 96-
- ESTRYN-BEHAR, M. (1983).- Apport de l'analyse ergonomique détaillée de deux nuits de travail d'infirmières en pneumologie à l'amélioration de la qualité des soins, Techniques hospitalières, Symbiose, 31, 7-15.
- FOLKARD, S. (1981).- Shiftwork and Performance. in JOHNSON, L.C. et coll., 'Biological rhythms, Sleep and Shiftwork, Advances in sleep research, vol.7, M.T.P. Press, 283-306.
- FOLKARD, S., KNAUTH, P., MONK, T.H., RUTENFRANZ, J. (1976).- The effect of memory load on the circadian variation in performance efficiency under a rapidly rotating shift system. Ergonomics, 19, 4, 479-488.
- FOLKARD, S., MONK, T.H. (1979).- Shiftwork and Performance, Human Factors, 21, 4, 483-492
- FOLKARD, S., MONK, T.H., (1980).- Circadian rhythms in human memory. British J. of Psychology, 71, 2, 295-307
- FOLKARD, S., MONK, T.H., LOBBAN, M.C. (1978).- Short and long term adjustment of circadian rhythms in 'permanent' night nurses. Ergonomics, 21, 10, 785-799
- FORET, J. (1977).- Sommeil, vieillissement et horaires alternants in ANDLAUER, P., et coll., Ergonomie du travail de nuit et des horaires alternants, Cujas, Paris, 135-142.
- FRAISSE, P. (1980).- Eléments de chronopsychologie, Le Travail Humain, 43, 2, 353-372.
- FUC-CFDT (1982).- Sommeil à vendre ?, FUC-CFDT, Paris, 146p
- GADBOIS, C. (1980).- Les exigences du travail hospitalier de nuit comme facteurs de la charge de travail, Le Travail Humain, 43, 1, 17-31
- GADBOIS, C. (1981).- Aides-soignantes et infirmières de nuit, Conditions de travail et vie quotidienne, ANACT, Montrouge, 77p.
- GUERIN, J. (1977).- Charge de travail et rythme de rotation. in ANDLAUER, P. et coll. 'Ergonomie du travail de nuit et des horaires alternants', Cujas, Paris, p177-188.
- GUERIN, J., DURMEYER, G. (1973).- Etude de la fatigue mentale industrielle. Université de Paris I, Institut des Sciences Sociales du Travail.
- HAIDER, M., KUNDI, M., KOLLER, N. (1981).- Methodological issues and problems in shiftwork research, In JOHNSON, L.C., TEPAS, D., COLQUHOUN, W.P., COLLIGAN, N.J., Biological rhythm, sleep and shiftwork, MTP Press, N.Y., 615p.

- HALBERG, F., REINBERG, A., REINBERG, AG. (1977).-Chronobiologic serial sections gauge circadian rhythm adjustments following transmeridian flight and life in novel environment, *Waking and sleeping*, 1, 3, 259-279.
- HARRIS, W. (1977).- Fatigue, circadian rhythm and truck accidents. in MACKIE, R.R. (ed.), 'Vigilance operational performance and physiological correlates', Plenum Press, New-York, 133-146.
- HILDEBRANDT, G., ROHMERT, W., RUTENFRANZ, J. (1974).- Twelve and twenty-four hours rhythms in error frequency of locomotives drivers and the influence of tiredness, *Int. J. of Chronobiology*, 4, 97-110.
- HOCKEY, G.R.J., COLQUHOUN, W.P. (1972).- Diurnal variation in human performance. in COLQUHOUN, W.P., 'Aspects of human efficiency : diurnal rhythm and less of sleep', English Universities Press, Londres, 1-24.
- HUGUES, D.G., FOLKARD, S. (1976).- Adaptation to eight-hour shift in a living routine by members of a socially isolated community, *Nature*, 264, 432-434.
- KHALEQUE, A., VERHAEGEN, P. (1981).- Circadian effects in short-cycle repetitive work in a two-shift system. In REINBERG A. et coll., 'Night and Shift-work, Biological and social aspects', Pergamon Press, Oxford, pp409-416.
- KLEIN, K.E., WEGMAN H.M. (1974).-The resynchronisation of human circadian rhythms after transmeridian flights as a result of flight direction and mode activity, in SCHEVING et coll. *Chronobiology*, Georg Thieme Publishers, Stuttgart, 564-570
- KLEITMAN, N. (1963).- Sleep and wakefulness, University of Chicago Press, Chicago, 552p.
- KNAUTH, P., RUTENFRANZ, F., (1982).- Development of criteria for the design of shiftwork systems, Proceed 6th intern. symp. on night and shiftwork, Kyoto, p1-60.
- KUNDI, M., et coll. (1979).- Consequences of shiftwork as a function of age and years on shift, *Chronobiologia*, 6, 123-
- LAVILLE, A., TEIGER, C., WISNER, A. (1975).- Age et contraintes de travail, NEB, Paris, 373p.
- MEERS, A. (1977).- Signification du rythme nycthemeral pour la performance en situation industrielle, in ANDLAUER, P. et coll. 'Ergonomie du travail de nuit et des horaires alternants', Cujas, Paris, 81-112.
- MINORS, D.S., WATERHOUSE, J.M. (1981).- Circadian rhythms and the human, Wright P.S.G., Bristol, 332p.
- MONK, T.H., EMBREY, D.E. (1981).- A field study of circadian rhythms in actual and interpolated task performance, in REINBERG, A. et coll. 'Night and shiftwork, biological and social aspects', Pergamon Press, Oxford, p473-480.
- MONK, T.H., KNAUTH, P. FOLKARD, S., RUTENFRANZ, J. (1978).- Memory based performance measures in studies of shiftwork, *Ergonomics*, 21, 10, 819-826.
- NAITOH, P. (1982).- Chronobiologic approach for optimizing human performance across circadian phase shifts. in BROWN, F.M. & GRAEBER, R.C., 'Rhythmic aspects of behaviour', Lawrence Erlbaum Associates, Londres, p41-104.
- NAVILLE, P. (1961).- Nouvelles recherches sur la division du travail. Cahier d'études de l'automatisme et des sociétés industrielles, 3, C.N.R.S., Paris, pp7-18.

- PIERS, C., SAUX, O., JOLY, A., HARRY, J.M., SURY, P., POUCHELLE, B. (1979).- Infirmières et aides soignantes de veille, étude comparative de deux rythmes de travail, ECI, Assistance publique de Paris, 119p.
- QUEINNEC, Y., DE TERSSAC, G. (1984).- Process control with shiftwork and human operator's activity in disturbed situation, soumis à Ergonomics.
- QUEINNEC, Y., DE TERSSAC, G., CHABAUD, C., DELVOLLE, N. (1983a).- L'évolution technologique et son influence sur le travail posté dans l'imprimerie, Fondation Européenne pour l'amélioration des conditions de vie et de travail, Dublin, 91p.
- QUEINNEC, Y., DE TERSSAC, G., DOREL, M. (1983b).- Temporal organisation of activities in process control. In 'Psychological approaches of Night and Shift Work', (Wedderburn et Smith Ed., à paraître).
- QUEINNEC, Y., DE TERSSAC, G., THON, P. (1981).- Field study of the activities of process controllers, European Annual Manual, Delft, Univ. Techn., p195-202.
- REINBERG, A. (1974).- Fatigue et rythmes biologiques, in Stress, fatigue et dépression, I, BUGARD, P., Doin, Paris, p41-55.
- REINBERG, A. (1977).- Des rythmes biologiques à la chronobiologie. Gauthier-Villars, Paris, 152p.
- REINBERG, A. (1979).- Le temps, une dimension biologique et médicale. in REINBERG, A. et coll. 'L'homme malade du temps', Stock, Paris, 25-62.
- REINBERG, A., ANDLAUER, P., VIEUX, N. (1981).- Night and shiftwork, biological and social aspects, Pergamon Press, Oxford, 509p.
- REINBERG, A. et coll. (1979).- Shift work tolerance: perspectives based upon findings derived from chronobiologic field studies on oil refinery workers, Chronobiologia, suppl. 1, 105-109.
- RUTENFRANZ, J. (1976).- Arbeitsmedizinische Erwartungen an die Ergonomie, In BRENNER, W., ROHMERT, W., RUTENFRANZ, J.(ed), Ergonomische Aspekte der Arbeitsmedizin, Geutner Verlag, Stuttgart, 31-37.
- RUTENFRANZ, J., et coll. (1972).- The effects of a cumulative sleep deficit, duration of preceding sleep period and body-temperature on multiple choice reaction time, In COLQUHOUN, W.P., 'Aspect of Human efficiency', EUP, Londres, pp217-219.
- SCHEVING, L.E., ROIG, C., HALBERG, F.(1974).- Circadian variations in residents of a "senior citizens" home, in SCHEVING, L.E., HALBERG, F., PAULY, J.E., Chronobiology, Georg thieme Publ., Stuttgart, p353-357.
- TEIGER, C. et coll. (1982).- Les rotativistes, changer les conditions de travail, ANACT, Montrouge, 344 pages.
- TEPAS, D.I. (1982).- Adaptation to shiftwork: fact or fallacy? Proceed 6th Intern. Symp. on night and shiftwork, Kyoto, p1-17.
- WILKINSON, R.T. (1982).- The relationship between temperature and performance across circadian phase shifts, In BROWN, F.M., GRAEBER, R.C., 'Rhythmic aspects of behavior', Lawrence Erlbaum Associates, Londres, pp213-240.
- WISNER, A. (1971).- Electrophysiological measures for tasks of low energy expenditure, in SINGLETON, W.T., FOX, J.G., WHITFIELD, D., Measurement of man at work, Taylor and Francis, Londres, p61-73.

WISNER, A. (1981).- Eléments de méthodologie ergonomique, in Scherrer, J.,
Traité de Physiologie du travail, Masson, Paris, p521-541.

WOJTCZAK-JAROSZWA, J. (1976).- Health and Work shifts. in RENTOS, P.G.,
SHEPARD, R.D., 'Shiftwork and health', New publications NIOSH, 76-203.

Psychologie Française
Décembre 1983 - Tome 28-3/4



SOMMAIRE

COMMUNICATION
ET TRAVAIL

M. de Montmollin

I.	M. de Montmollin Les communications dans le travail ...	p. 226
II.	M. Lacoste Des situations de parole aux activités interprétatives	p. 231
III.	V. De Keyser Communications sociales et charge mentale dans les postes automatisés ..	p. 239
IV.	A. Savoyant et J. Leplat Statut et fonction des communications dans l'activité des équipes de travail ..	p. 247
V.	J. Theureau et L. Pinski Action et parole dans le travail	p. 255
VI.	Y. Queinnee, J. C. Marquie, N. Delvolve et C. Chabaud Stabilités implicites et instabilité réelle des communications Hommes-Machines	p. 265
VII.	J. M. Cellier et C. Mariné Variations des communications instru- mentales et d'entretien, en fonction des exigences, dans une tâche de régulation	p. 275
VIII.	F. Daniellou Éléments sur la collaboration de 2 opéra- teurs dans une tâche d'identification, de contrôle et de marquage	p. 283
IX.	P. Perin Communication interactive de groupe et médiatisation	p. 289
X.	P. Papet L'expression des salariés : une nouvelle forme de communication dans le travail	p. 297

HORS THÈME

1.	G. M. Gauthier, E. Marchetti et J. Pellet - Perception de la stabilité de l'espace visuel dans les mouvements oculaires et céphaliques	p. 303
2.	M. Launay - Organisation de l'espace et comportement d'amasement chez le Hamster doré	p. 310
3.	G. Guillec - L'identité professionnelle des psychologues praticiens	p. 315
4.	B. Rimé, D. Thomas, P. Laubin et M. Ri- chier - Compétences verbales, compor- tements non verbaux et motivation à l'interaction sociale	p. 322

NOUVELLES DE LA SFP

Actualité, Activités, Agenda - C. Lemoine p. 331

Éd. Armand Colin - Paris - P 6803

VI. STABILITÉS IMPLICITES ET INSTABILITÉ RÉELLE DES COMMUNICATIONS HOMMES-MACHINES

Yvon QUEINNEC

*Docteur ès Sciences
Maître-assistant à l'U. Toulouse III,
Lab. de Psychophysiology
Principaux thèmes de recherche :
Régulations inter et intra-individuelles
dans le contrôle de processus continus
Dimension temporelle du comportement
(Secteur de la chimie).*

Jean-Claude MARQUIE

*Maître en Psychologie
Docteur en Biologie du comportement
Attaché de recherches au CNRS
Lab. de Psychophysiology
Principaux thèmes de recherche :
Vieillesse et activités perceptives
chez l'homme au travail.*

Nicole DELVOLLE

*Maître et Docteur en Physiologie
Assistante à l'U. Toulouse III,
Lab. de Psychophysiology.
Principaux thèmes de recherche :
Rythmicité ultradienne et fonctions
des activités annexes en situation de
travail répétitif (Postes informatisés).*

Corinne CHABAUD

*Maître en Psychologie et en Sociologie
Allocataire de recherche à l'U. Toulouse III
Chercheur 3^e cycle à l'U. Toulouse II.
Principaux thèmes de recherche :
Structuration du comportement
Travail sur postes informatisés
et transformation du métier
(Secteur de la Presse quotidienne).*

Laboratoire de Psychophysiology, ERA 700 du C.N.R.S.,
Université Paul Sabatier, 31062 TOULOUSE CEDEX.

Pf N° 28-3
Déc.
1983

Aborder la communication dans le travail revient à étudier les échanges d'informations entre le travailleur et son environnement. En ce sens, l'environnement recouvre à la fois le (ou les) partenaire(s) et un (ou des) objet(s) travaillés dans un contexte donné. La nature de la relation « homme-environnement de travail », directe ou par l'intermédiaire d'outils plus ou moins sophistiqués, influencera bien évidemment le type de communication et les canaux utilisés mais, dans tous les cas, compte tenu de la richesse et de la complexité de l'information disponible et des traitements à effectuer, l'opérateur humain sera conduit à sélectionner et à hiérarchiser les signaux, formels ou informels, présents à un moment donné. Cette sélection découle soit du simple fait des possibilités perceptives (du « Merkwelt », Von Uexküll, 1956) qui sont responsables d'un premier filtrage, soit de l'activité de traitement de l'information. Une telle approche complète, voire supplante depuis de nombreuses années une analyse du travail en termes d'activités gestuelles qui reste bien insuffisante (Faverge, 1972). Par ailleurs, sauf cas exceptionnels, l'échange d'informations s'effectue en boucles fermées impliquant la mise en œuvre de mécanismes de régulation visant à ajuster les variables de sortie aux fluctuations des variables d'entrée et aux conséquences de celles-ci sur le fonctionnement du système H-M (Naslin, 1958).

SUMMARY

From results on the Operator's actual activity in work situations, this paper points out the intrinsic variability of the human functioning. The authors try to specify, in workers' activities the part played by *Structural Variations* (in contrast with variations resulting from working). Taking into account these S.V. leads to some theoretical, methodological and practical implications.

Néanmoins, trop souvent ces approches reposent, au moins implicitement, sur l'idée que la composante humaine du système est dotée de **propriétés fonctionnelles invariantes** (y compris après stabilisation par apprentissage).

Notre propos, au travers de quelques illustrations, vise à souligner les limites d'une telle conception et à dégager le caractère fondamentalement instable du sous-système humain et des relations qu'il entretient avec les autres sous-systèmes. Nous tenterons ensuite d'en inférer quelques conséquences quant aux méthodologies utilisées ou à la sécurité et la fiabilité des hommes et des installations.

1. VARIATIONS RÉSULTANT DE L'ACTIVITÉ ET VARIATIONS STRUCTURELLES

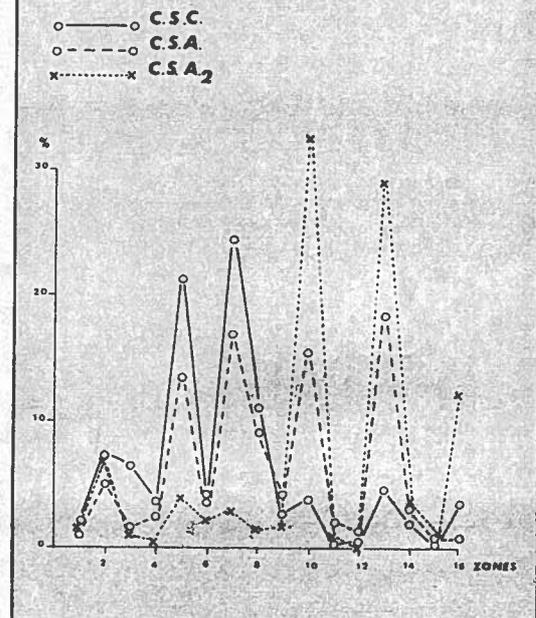
Lors de l'exécution d'une tâche répétitive, même chez des sujets expérimentés, des différences dans les conduites de travail peuvent être observées aussi bien entre plusieurs individus qu'au sein d'un même individu.

1.1. Variabilité inter-individuelle et variations intra-individuelles

Pour Ochanine et Venda (1962), « l'efficacité du fonctionnement d'un système H* M procède essentiellement : soit de la perfection de l'équipement technologique, soit des particularités individuelles de l'opérateur humain, soit de l'adaptation réciproque de l'homme et de la machine en tant qu'éléments d'un système complexe ». Ce dernier point, essentiel en ergonomie, tout en privilégiant les communications et en évitant la centration soit sur l'homme, soit sur la machine, autorise cependant le développement de conceptions normatives, d'autant que ces auteurs souhaitent « rechercher les moyens qui assureraient l'efficacité [de l'opérateur humain] et qui ne dépendraient que très peu de ses qualités individuelles ». En d'autres termes, l'objectif est de maîtriser, notamment, les différences entre les individus. Par le passé, et sans confondre les présupposés théoriques ou idéologiques sous-jacents, ceci a pu conduire soit à « exploiter » ces différences (par la sélection par exemple), soit à tenter de les « gommer » ou de les compenser (par la formation ou l'aménagement des postes dans une perspective différentielle), soit encore à les sous-estimer voire à les nier de fait. Ce dernier point est illustré de façon caricaturale par l'organisation du travail en équipes successives qui postule que les diverses équipes ou même les divers membres d'une même équipe (rondiers, contrôleurs, chefs de quart,...) « fonctionnent » comme leurs partenaires respectifs et que en ayant « fixé » les relations qui « doivent » exister entre les éléments (humains ou techniques) du système, la fiabilité de l'ensemble

en sera déterminée. Les notions de partage des tâches (fig. 1) ou de « gestion mobile des fonctions » (Naville, 1962) s'opposent déjà à ces présupposés.

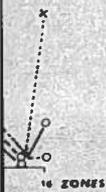
FIG. 1. - Distribution des regards (Fréquences relatives) vers 15 zones informationnelles (2 à 16) réparties, de gauche à droite sur un panneau mural de 13 mètres de long et 2 mètres de haut, dans une équipe de 3 contrôleurs de processus. La zone 1 est située sur le pupitre de commande placé au centre de la salle de contrôle. CSC : chef de salle, CSA : adjoint n° 1, CSA2 : adjoint n° 2. Valeurs portant sur 80 observations de 30 minutes chacune.



Il ne saurait être question de confondre ici les pratiques sociales et la position des chercheurs. Ainsi, l'intégration progressive de la variabilité inter-individuelle en ergonomie (Wisner, 1971) ou la distinction entre travail prescrit et travail réel (ou encore entre tâche et activité, Leplat, 1978) ne peuvent plus être ignorées (Wisner, 1981). De même, on ne saurait contester l'effort de la psychologie ou de la physiologie du travail pour dégager l'importance des variations propres à un sujet donné et pour dénoncer la conception statique et uniformisante de « l'homme moyen ». Ainsi, et pour en revenir au domaine de la communication, le filtrage des informations dépend de la structure et du fonctionnement des systèmes sensoriels mais aussi de la modulation de ces systèmes à un instant donné. Il en résulte une **sélection individuelle et instantanée** d'un certain nombre de signaux dans l'ensemble de la situation. Cette assertion peut être

partage des
fonctions »
résupposés.

ds (Fré-
informa-
auche à
3 mètres
l'équipe
ne 1 est
placé au
chef de
point n° 2.
tions de



ndre ici les
chercheurs.
a variabilité
er, 1971) ou
avail réel (ou
t, 1978) ne
1981). De
ffort de la
travail pour
propres à un
tion statique
». Ainsi, et
munication,
la structure
nsoriels mais
à un instant
dividuelle et
signaux dans
on peut être

illustrée (et ceci sans vouloir extrapoler à l'homme !) par des recherches effectuées sur le rat. Dès les premiers relais de la voie olfactive les réponses des neurones à une odeur alimentaire sont très fortement modulées par l'état nutritionnel de l'animal. A l'inverse, les odeurs des produits non alimentaires évoquent des réponses indépendantes de l'état de faim ou de satiété mais qui, par contre, s'habituent rapidement lors de stimulations répétées (Pager, 1980). Cet exemple révèle que l'état de l'animal à un moment donné détermine non seulement l'amplitude de certains signaux mais aussi le fonctionnement de certains processus de traitement de l'information.

1.2. Les sources de variations intra-individuelles

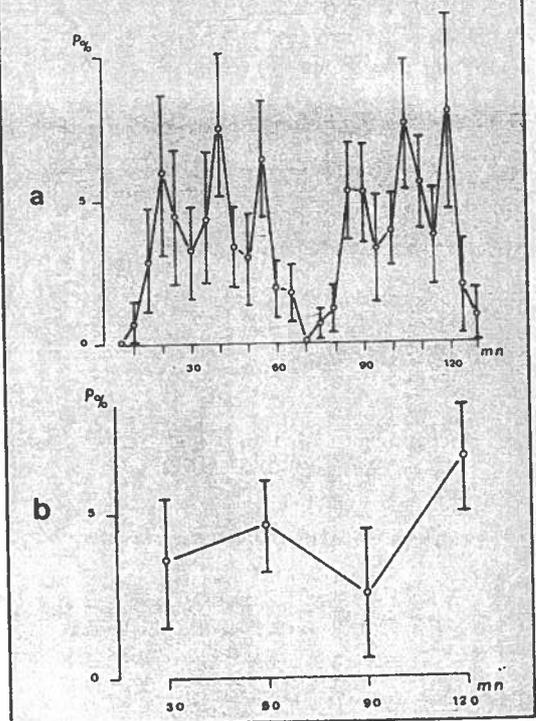
L'une des contributions majeures de la psychophysiologie est de montrer que l'homme, facteur de production et de transformations, est également le siège des transformations qui l'amènent à reconsidérer les moyens mis en œuvre pour atteindre ces objectifs. Ceci revient à mettre l'accent sur le fait que pour assurer la stabilité d'un système de production, l'homme doit non seulement faire face aux fluctuations de sa tâche mais aussi gérer ses propres variations. Ce dernier point recouvre un ensemble hétérogène pouvant séier soit à court terme (adaptation sensorielle, habituation...) soit à moyen terme (apprentissage, fluctuations de la vigilance, fatigue, rythmes biologiques...) soit enfin à long terme (processus biologiques inéluctables du vieillissement, usure par le travail, acquisition de « savoir »,...). Néanmoins, au-delà de la base de temps des phénomènes considérés ou de leurs manifestations, il nous semble souhaitable d'y distinguer deux grandes classes : la première regroupe les variations découlant directement ou indirectement de l'activité : Variations Résultant de l'Activité (V.R.A.) ; la seconde concerne des variations pouvant exister indépendamment de toute activité finalisée : Variations Structurelles (V.S.). Ces dernières confèrent à l'homme une « véritable structure temporelle » (Reinberg, 1974), influencent son état réactionnel et déterminent, pour partie, son activité.

La description des V.R.A. et l'analyse de leur rôle dans le travail constitue une préoccupation centrale en ergonomie (voir par exemple de Montmollin, 1967 ; Leplat et Cuny, 1977 ; Sperandio, 1980). Ainsi, les études sur l'apprentissage, l'élaboration de représentations mentales, les conséquences immédiates ou différées sur la santé ou la vie hors travail, sont autant de repères de l'intérêt porté aux V.R.A. Celles-ci, selon le schéma de Leplat et Cuny (1977), modifient les « caractéristiques du travailleur », et de ce fait sa conduite. Cependant, dans la majorité des ouvrages les « caractéristiques des travailleurs » restent mal définies et recouvrent un ensemble de données (âge, sexe, mesures anthropométriques, niveau intellectuel ou de qualification...) plus propres à définir un individu que son état fonctionnel.

Le statut des variations structurelles est plus ambigu. Certes, le vieillissement des capacités

physiques et mentales (Pacaud, 1980), la rythmicité ultradienne ou circadienne... des diverses fonctions (Fraise, 1980 ; Brown et Graeber, 1982 ; Minors et Waterhouse, 1981, parmi les synthèses les plus récentes) ne sont plus contestables. Cependant, dans bien des cas ces variations sont « mises entre parenthèses », sous-estimées, voire niées de fait. Ainsi, derrière la façade de l'instabilité des conduites, se cache une stabilité implicite de certaines composantes biologiques ou mentales du fonctionnement humain. On s'adresse non plus à « l'homme moyen » mais à « l'individu à fonctionnement moyen ». On pourra alors étudier la constitution progressive de l'image opérative (au lieu de celle « des systèmes d'images opératives »), mais aussi modéliser, simuler l'homme puisque (au moins sur un laps de temps donné) il sera estimé suffisamment conforme à lui-même pour que son activité seule – mais non les processus mentaux sous-jacents – ne soit dépendante que des exigences du travail et des conséquences de celui-ci. En réalité, la thèse de la stabilité repose sur la trame temporelle choisie (fig. 2).

FIG. 2. – Évolution de la performance (nombre d'erreurs et d'oublis en pourcentage du nombre de signaux traités) lors d'une épreuve de temps de réaction visuel discriminatif. (Expérimentation en laboratoire, durée : 2 heures, 9 sujets appariés). En a, l'unité de découpage est de 5 minutes, en b, elle est de 30 minutes. En b, aucune différence significative ne peut être décelée.



2. L'IMPACT DES VARIATIONS STRUCTURELLES DANS LES SYSTÈMES HOMMES-MACHINES

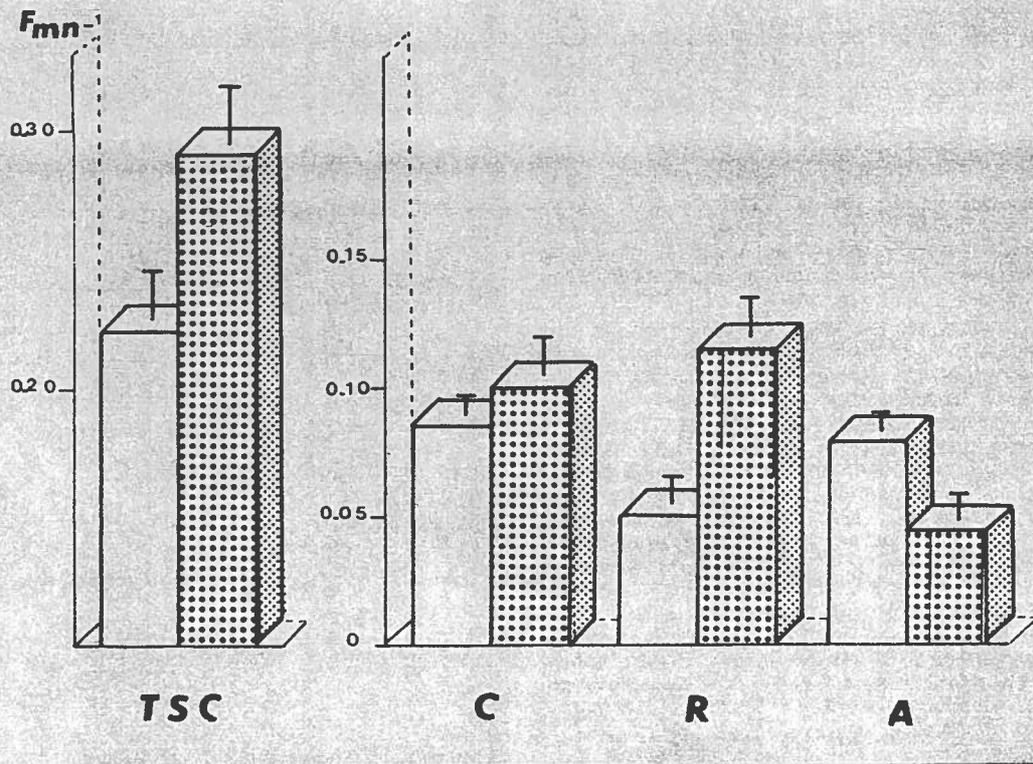
2.1. Volume et nature des informations échangées

Il n'est pas encore aisé, et ce n'est pas notre objectif, de dresser un tableau exhaustif des conséquences des V.S. sur les relations dans un système homme-machine. En effet, d'une part, leur rôle ne souffre guère d'exclusive mais, d'autre part, force est de constater le nombre encore limité de travaux en ce domaine. Dans la plupart des cas on est conduit à inférer leurs conséquences sur le fonctionnement de l'organisme soit à partir de recherches portant sur les variations de capacités physiques ou mentales analysées isolément, soit à

partir des résultats de l'activité. On connaît bien les limites et les difficultés d'interprétation des constats issus de la juxtaposition d'indicateurs ou reposant sur la performance. En ce qui concerne les V.S., c'est certainement dans le cadre des études sur le vieillissement que le problème est le mieux abordé. Il est bien évident que nous entendons ici par vieillissement les « processus biologiques du vieillissement » et non les composantes issues de l'expérience de l'individu bien que cette distinction soit très difficile dans la réalité. Dans le classique travail de Szafran (1954) sur le jet d'objets par-dessus un écran cachant une cible visible dans un miroir, on trouve l'hypothèse de défaillances (à partir de 25 ans) du système véhiculant les informations. Nous avons nous-mêmes montré l'impact du vieillissement sur l'activité de prises d'informations visuelles, tant quantitativement que qualitativement, au cours d'un travail de labour (fig. 3).

Ce dernier exemple illustre bien le propos de Paillard (1966) sur les perturbations d'un ensemble fonctionnel et rappelle que les variations des

FIG. 3. - Fréquence moyenne des fixations oculo-céphaliques sur différentes sources d'information chez des tractoristes âgés de moins de 40 ans (moyenne 28,6; histogrammes vides) ou de plus de 40 ans (moyenne 49, histogrammes hachurés). TSC : toutes sources informationnelles confondues, C : charrue, R : roue avant droite, A : devant soi.



On connaît bien l'interprétation des indicateurs ou qui concerne le cadre des problèmes est le que nous entendons processus biologiques composantes bien que cette réalité. Dans le jet d'objets le visible dans défaillances (à véhiculant les mêmes montrés activité de prises rationnellement que travail de labour

le propos de d'un ensemble variations des

information ou de plus rationnelles

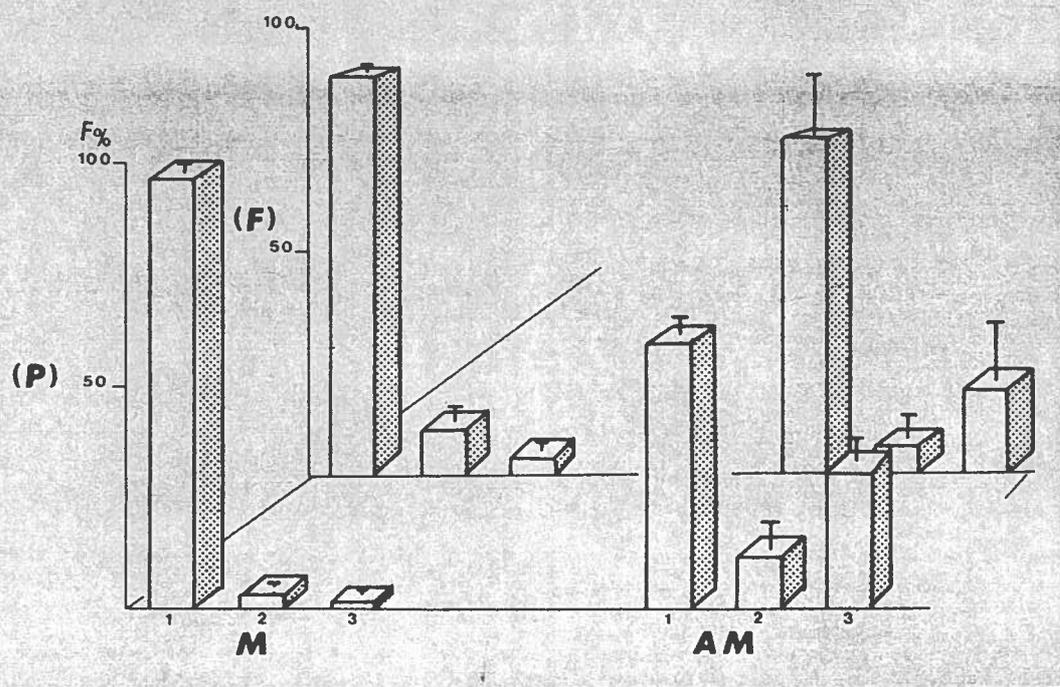
propriétés fonctionnelles d'un élément d'un système (ici, l'opérateur humain) influenceront soit de façon quantitative (nombre d'informations échangées), soit de façon qualitative (nature des informations), soit par le biais de restructurations (notion de « système ouvert ») les relations qui s'établissent dans le système. Si la première de ces conséquences est généralement bien intégrée en psychologie ergonomique (références aux concepts d'activation, de vigilance, d'attention...) il n'en va pas de même en ce qui concerne les deux autres. Ainsi, et en prenant une analogie en physiologie, si la rythmicité circadienne du fonctionnement du foie est bien « acceptée », le fait qu'une même cellule hépatique utilise, **selon les heures**, son énergie soit à la synthèse du glycogène soit à la synthèse des protéines (Reinberg et coll., 1979) ne transparaît pas de façon claire dans les modèles de fonctionnement du foie. Pour en revenir au monde du travail, dans une étude antérieure (de Terssac et coll., 1983), consacrée à l'analyse de l'activité de surveillance de contrôleurs de processus, nous avons montré que la quantité d'informations visuelles prélevées sur le système technique mais aussi leur nature et les stratégies d'exploration visuelle va-

riaient au cours du nyctémère et qu'elles dépendaient tout autant de l'heure que des exigences du travail.

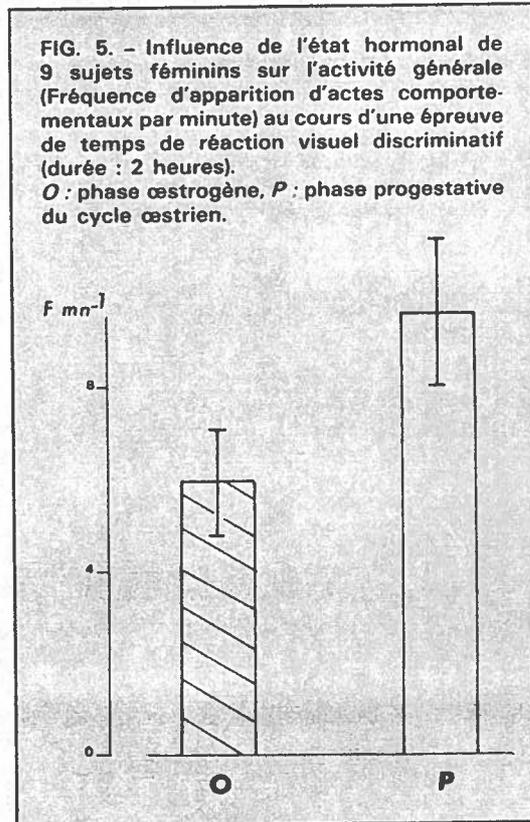
L'impact des V.S. sur l'homme récepteur d'informations se retrouve également en ce qui concerne son rôle d'émetteur dans le système. Au cours d'un travail répétitif de saisie de documents sur terminal d'ordinateur nous avons constaté que les opératrices utilisaient au moins trois types de modes opératoires lors du passage d'un document au suivant. L'un d'entre eux n'interrompt pas le dialogue homme-ordinateur puisque la frappe se poursuit pendant les opérations de changement de document. Dans les deux autres cas la communication avec le calculateur est suspendue pendant ces opérations. Les données recueillies dans deux équipes successives (travail en 2 x 8) révèlent que l'adoption d'un mode opératoire donné est influencée par l'heure de prise de poste (fig. 4).

Les quelques exemples évoqués ci-dessus montrent que l'âge ou la rythmicité circadienne du fonctionnement de l'opérateur humain induisent des variations dans ses relations aux « machines ». Ces variations ne sauraient être imputables aux seules

FIG. 4. - Comparaison des fréquences d'apparition des différents modes opératoires observés, en 2 heures, chez 6 opératrices de saisie travaillant en 2 x 8. M : poste du matin, AM : poste de l'après-midi, P : début du travail, F : fin du travail, 1 : mode opératoire avec frappe en continu, 2 et 3 : modes opératoires entraînant une discontinuité de la frappe. La dispersion indiquée représente l'erreur type de la moyenne. Les différences observées, soit entre les débuts de poste, soit entre les fins de poste sont hautement significatives.



exigences de la situation de travail. On ne connaît encore que très peu de choses sur la modulation qu'exerceraient d'autres V.S. (rythmicité infra et ultradienne des capacités et du comportement humain, état métabolique ou endocrinien, prise de médicament...). On peut cependant estimer qu'elle est loin d'être négligeable. Des travaux conduits au laboratoire nous semblent aller dans ce sens (fig. 5).

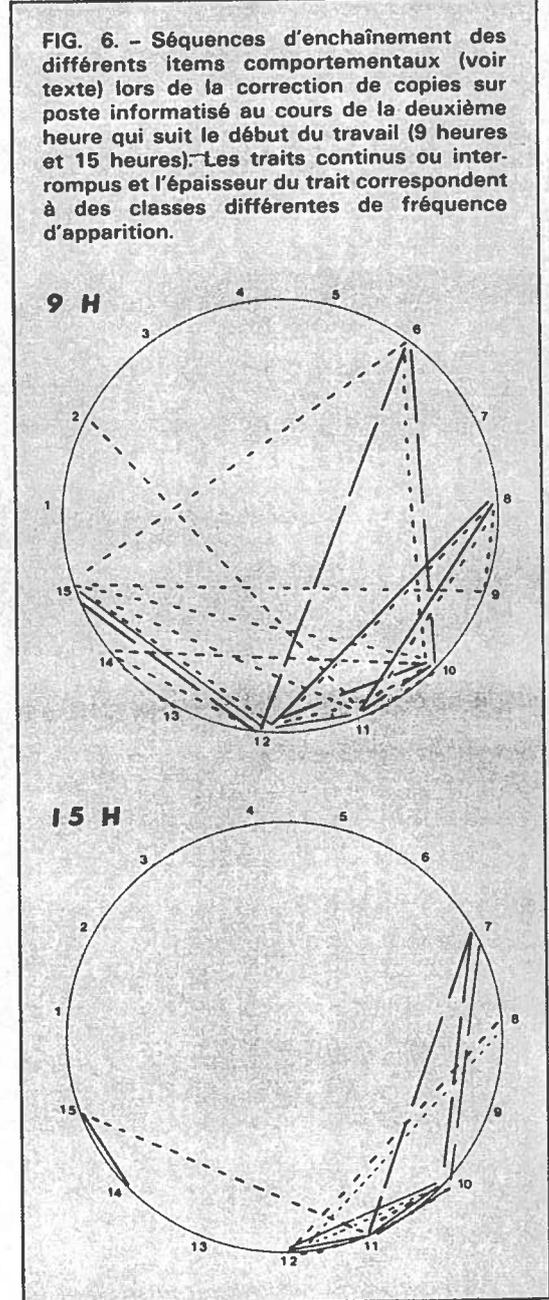


2.2. V.S. et structuration des conduites de travail

Nous avons dit que si les propriétés fonctionnelles d'au moins un élément d'un système Homme-Machine (s) étaient susceptibles de transformations internes alors la structure du système en serait modifiée. Nous prendrons ici deux exemples. Le premier a trait aux restructurations qui affectent l'élément humain (et par là l'ensemble du système). Le second concerne les relations entre les éléments humains (membres d'une même équipe de travail dans le cas présent).

L'analyse du comportement de saisie ou de correction de textes sur matériel informatisé dans une imprimerie de labour nous a conduit à retenir 15 indicateurs de l'activité. Ces indicateurs peuvent être relatifs à la tâche elle-même (items 1 à 9, fig. 6),

aux contraintes posturales (items 10 à 12) ou encore à des manifestations collatérales (mimiques, actions sur son propre corps, etc. ; items 13 à 15). L'analyse des séquences d'enchaînements des différents items entre eux révèle : d'une part, que la structuration du comportement dépend du type de tâche - saisie ou correction - effectuée, mais d'autre part, de Variations Structurelles (horaires de début du travail dans le cas présent) (fig. 6).



(2) ou encore
ques, actions
(5). L'analyse
s différents
part, que la
d du type de
ectuée, mais
s (horaires de
(fig. 6).

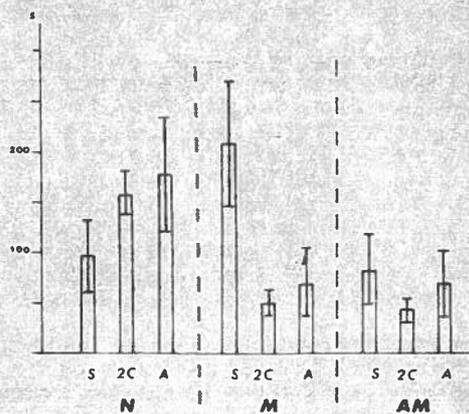
ent des
ux (voir
opies sur
leuxième
9 heures
ou inter-
spondent
référence



La seconde illustration nous est fournie par l'étude du comportement de contrôleurs de processus hautement automatisé, dans l'industrie chimique. Le poste de travail (la salle de contrôle dans cet exemple) est occupé par des équipes successives (travail en 3×8 à rotation courte) comprenant chacune 7 opérateurs dont 2 sont affectés à la salle de contrôle. Pour diverses raisons l'un de ces 2 opérateurs peut être amené à quitter temporairement la salle. Inversement, d'autres opérateurs (rondiers, chefs de quart...) peuvent séjourner plus ou moins longtemps, dans la salle de contrôle. Les résultats obtenus permettent tout d'abord de confirmer que le comportement des contrôleurs subit d'importantes variations horaires. Plus significatif pour notre propos est sans doute le fait que les conséquences de l'absence ou de la présence de coéquipiers sont fortement dépendantes de l'heure. Ainsi, et pour ne prendre qu'un seul aspect du comportement, le matin un contrôleur passe en moyenne 4 fois plus de temps à lire ou à écrire s'il est seul que si d'autres personnes sont présentes, ce qui au demeurant paraît logique. La nuit par contre un contrôleur seul consacre 2 fois moins de temps à ces mêmes activités que quand il est accompagné (fig. 7). En d'autres termes, et de façon schématique, la présence de coéquipiers entrave la

FIG. 7. - Évolution du temps passé à la lecture ou à l'écriture « non professionnelle » (tenue du livre de bord, relevés... exclus) chez des contrôleurs de processus.

N : quart de nuit (20 heures/4 heures), *M* : quart du matin (4 heures/12 heures), *AM* : quart de l'après-midi (12 heures/20 heures), *S* : opérateur seul en salle de contrôle, *2C* : coprésence de 2 contrôleurs, *A* : présence d'un ou de plusieurs autres membres de l'équipe. Ordonnées : valeurs, en secondes, pour 10 minutes d'observation. Données portant sur 360 observations de 30 minutes chacune. L'interaction « heure/présence » est significative.



lecture le matin mais la facilite la nuit. Elle ne l'influence guère l'après-midi. Nous nous bornerons ici à constater que les relations qui s'instaurent (ou ne s'instaurent pas) dans le système dépendent, au moins en partie, de l'état fonctionnel des sujets à un moment donné.

2.3. Relations entre V.S. et V.R.A.

L'exemple précédent illustre également les conséquences des V.S. sur les variations résultant de l'activité. En effet, ces dernières sont modulées par les variations structurelles qui affectent les sujets. L'analyse de l'activité de surveillance lors de l'apparition d'incidents permet d'explicitier ce point. Dans la situation de l'industrie chimique évoquée ci-dessus, l'étude détaillée de 38 incidents (Queinsec et coll., 1982) a révélé que l'apparition d'un incident, se traduit, la nuit, par une élévation brutale et durable des prises d'information visuelle (leur fréquence triple durant les 5 minutes qui suivent la signalisation de l'incident par des repères visuels et sonores). L'après-midi au contraire, la survenue d'un incident ne provoque qu'une faible réponse passagère (moins d'une minute). Sans entrer dans le détail des résultats concernant la distribution des regards vers les différentes sources informationnelles, on peut néanmoins préciser que la survenue d'un incident s'accompagne la nuit, d'une profonde réorganisation de leur localisation mais que ceci n'est pas aussi vrai l'après-midi.

Ces quelques éléments révèlent que chez des sujets très expérimentés (ancienneté moyenne à ce poste supérieure à 5 ans) et fréquemment confrontés à ce type de situation (sur 200 incidents observés la fréquence moyenne d'apparition est de 90 minutes environ, et ceci de jour comme de nuit), le diagnostic et la résolution d'un « problème » mettent en jeu des processus mentaux et un système de représentations plus ou moins accessibles selon l'état fonctionnel de l'opérateur ; nous y reviendrons par la suite.

3. CONSÉQUENCES DE LA PRISE EN COMPTE DE L'INSTABILITÉ STRUCTURELLE DE L'OPÉRATEUR HUMAIN

Trois types de conséquences de la prise en compte de l'instabilité des propriétés fonctionnelles de l'opérateur humain peuvent être envisagées. Les premières sont d'ordre théorique. Les secondes renvoient à des questions méthodologiques. Enfin, les dernières concernent l'aménagement des postes de travail et la fiabilité des systèmes H-M.

3.1. Au plan théorique

Au plan théorique, l'apport de l'analyse des V.S. peut se révéler fructueux notamment dans le domaine des représentations mentales. Nous avons

en effet souligné plusieurs fois l'impact des V.S. en particulier sur la détection, la sélection et la hiérarchisation de l'information. Les travaux de Folkard (1982) sur la rythmicité circadienne de la mémoire à court terme et à long terme confirment que les V.S. peuvent affecter les processus sous-tendant le traitement de l'information. Il n'est guère possible ici de développer de façon approfondie les implications théoriques de cet ensemble de données. On insistera seulement avec Folkard sur « les changements qualitatifs dans la manière dont les gens encodent et stockent l'information avec décroissance des répétitions mécaniques et augmentation des traitements sémantiques au cours de la quasi-totalité de la période normale d'éveil ». Ces changements qualitatifs ne sont guère interprétables en référence à l'« arousal theory » qui pourrait alors être complètement abandonnée ou remplacée par la « multifactor arousal theory » (Thayer, 1978).

D'un autre point de vue, si l'on considère que l'état de diverses caractéristiques de la prise d'information (Neboit, 1983) reflète des processus sous-jacents de représentation mentale (Poulton, 1971) on peut alors, compte tenu des variations de stratégie exploratoire évoquées ci-dessus, admettre la possibilité que coexistent chez un même opérateur, des représentations mentales différentes dont la disponibilité ou l'utilisation seraient influencées par les variations de son état fonctionnel. Ceci rejoint l'hypothèse de Cavallo (1982), élaborée à partir des travaux de Paivio et Csapo (1973) sur la mémoire, « de l'existence parallèle de deux ou plusieurs représentations, où selon le besoin, l'une ou l'autre est rappelée ». Nous ajouterions cependant « selon le besoin ou l'état fonctionnel instantané du sujet... ». Dans la mesure où cette hypothèse reformulée serait confirmée, alors l'étude des V.S. pourrait constituer effectivement une autre voie d'approche des représentations mentales des opérateurs.

3.2. Aspects méthodologiques

L'ensemble des Variations Structurelles et des Variations Résultant de l'Activité n'est pas toujours accessible à la simple observation. Ceci implique de rechercher des indicateurs de plus en plus éloignés de la performance d'autant que, d'une part, celle-ci ne rend compte ni de l'activité réelle ni de son coût (Wisner, 1973), et que d'autre part, dans certaines situations (dispositifs fortement automatisés), le résultat de l'action sur le système technique (quand il y en a) est difficilement quantifiable. Mais, par ailleurs, il est aussi des cas où la performance est si rigidement définie qu'elle ne peut quasiment pas varier tant dans son volume total que dans les modalités de sa distribution dans le temps (régulation en sommation, Faverge) sous peine de mettre en cause le fonctionnement du dispositif et/ou l'emploi du sujet.

Les changements de modalités opératoires ou de prises d'information peuvent par contre constituer de bons indicateurs des variations internes comme nous l'avons montré. Mais la restriction progressive de la marge d'autonomie dans certains cas, par la

perte du contrôle de la production puis de la maîtrise des procédures de travail, peut imposer aux opérateurs de reporter leurs réajustements dans d'autres sphères du comportement. L'étude des activités accessoires ou annexes du comportement peut, dans ce cas, constituer une alternative fructueuse (Delvolve et Queinnec, 1983) pour apprécier les variations de l'état fonctionnel là où notamment les contraintes techniques et organisationnelles n'autorisent pas l'émergence d'autres signes observables ayant valeur d'indicateur.

Ces quelques remarques méthodologiques valent tout autant pour les V.S. que pour les V.R.A., et pour appréhender leurs effets. Mais il faut reconnaître et souligner les difficultés qui surgissent dès lors qu'on veut prendre en compte les deux catégories de variables. De l'une à l'autre et dans l'une et l'autre les échelles de temps sont différentes, ce qui signifie que tantôt elles compensent tantôt elles conjuguent leurs effets dans la réalité. La mesure conjointe de plusieurs sortes de variations enrichit considérablement la compréhension des mécanismes de l'activité et des conditions de production de la charge de travail, mais elle implique une durée prolongée des observations de l'activité, des distributions d'échantillonnage suffisamment étalées, et une trame temporelle des grilles d'observation suffisamment fine.

3.3. Retombées pratiques

On ne saurait conclure sans évoquer les incidences que doit avoir la prise en compte des V.S. pour l'aménagement des postes de travail. En premier lieu, la reconnaissance de l'instabilité intrinsèque de l'opérateur humain heurte la tendance à la rigidification des procédures qui transparait souvent lors de l'informatisation. La recherche de l'algorithme le plus efficace nous semble de ce point de vue peu compatible avec les procédures réellement mises en œuvre par les opérateurs. De même, le souci de présenter sur un écran les seules informations pertinentes pour des opérateurs repose, au moins implicitement, sur un modèle de stabilité interne des sujets expérimentés. C'est à cette stabilité implicite que se réfère également la tendance qui vise à simuler des incidents plus ou moins complexes en postulant que l'opérateur pourra par la suite reproduire, à tout moment, des procédures de diagnostic et de résolution standardisées. Il n'est sans doute pas innocent que cette attitude se réfère aux modèles de l'informatique qui ne se préoccupent guère d'une des fonctions essentielles de l'homme : l'activation (voir cependant ci-dessus). Or, comme le remarque Bainbridge (1981) à propos du contrôle de processus, « tout facteur qui affecte la manière dont il (le contrôleur) surveille une partie du processus, peut affecter sa performance de contrôle ». Pour cet auteur l'un de ces facteurs serait « l'efficacité de la mémoire opérationnelle concernant l'état présent ». Certains des résultats évoqués ci-dessus sont bien illustratifs du problème abordé.

Il nous semble au contraire que, dans la mesure où la fiabilité des systèmes complexes de plus en plus automatisés repose (paradoxalement) sur l'opéra-

teur humain, il devient essentiel de s'interroger, dès le stade de la conception, sur les conditions qui permettront à l'opérateur de gérer au mieux sa propre instabilité. Au-delà des aspects de sécurité c'est aussi plus fondamentalement un problème de coût pour les opérateurs qui est sous-jacent. □

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAINBRIDGE (L.). - Le contrôleur de processus. *Bull. Psychol.*, 1981, *F34*, (352), 813-832.
- BROWN (F. M.) and GRAEBER (R. C.). - *Rhythmic aspects of behaviour*, Londres, L.E.A., 1982, 483 p.
- CAVALLO (V.). - Apprentissage d'une activité de montage : propriétés des représentations internes régulatrices de l'activité. *Le Travail Humain*, 1982, *45*, (2), 195-208.
- DELVOLVE (N.) and QUEINNEC (Y.). - Operator's activities at CRT terminals : a behavioural approach. *Ergonomics*, 1983, *26*, (4), 329-340.
- DE MONTMOLLIN (M.). - *Les Systèmes Hommes-Machines*. Paris, P.U.F., 1967, 248 p.
- DE TERSSAC (G.), QUEINNEC (Y.) and THON (P.). - Horaires de travail et organisation de l'activité de surveillance. *Le Travail Humain*, 1983, *46*, (1), 65-79.
- FOLKARD (S.). - Circadian rhythms and Human memory ; in : *Rhythmic aspects of behaviour*, Brown (F. M.) and Graeber (R. C.) Éd., Londres, L.E.A., 1982, 241-272.
- FAVERGE (J.-M.). - L'Analyse du travail ; in : *Traité de Psychologie appliquée*, 1972, *3*, M. Reuchlin Éd., Paris, P.U.F., 1-60.
- FRAISSE (P.). - Éléments de chronopsychologie. *Le Travail Humain*, 1980, *43*, (2), 353-372.
- LEPLAT (J.) et CUNY (X.). - *Introduction à la psychologie du travail*. Paris, P.U.F., 1977, 240 p.
- LEPLAT (J.). - Le diagnostic ergonomique des contraintes de travail ; in : *L'ergonomie au service de l'homme au travail*, Paris, S.F.P. Éd., EME, 1978, 21-28.
- LEPLAT (J.). - *La Psychologie ergonomique*. Paris, P.U.F., 1980, 126 p.
- MINORS (D. S.) and WATERHOUSE (J. M.). - *Circadian Rhythms and the human*. London, Wright-PSG, 1981, 332 p.
- NASLIN (J.). - *Technologie et calcul pratique des systèmes asservis*. Paris, Dunod, 1958.
- NAVILLE (P.). - Nouvelles recherches sur la division du travail. *Cahiers d'étude de l'automatisme et des sociétés industrielles*, 1962, *3*, CNRS, Paris, 7-18.
- NEBOIT (M.). - Évolution de l'exploration visuelle avec l'apprentissage et avec l'expérience professionnelle. *Le Travail Humain*, 1983, *46*, (1), 33-48.
- OCHANINE (D.) et VENDA (D.). - De l'accroissement de l'efficacité du travail des opérateurs dans les systèmes automatisés. *Questions de Psychologie*, 1962, (3), 179-198.
- PACAUD (S.). - Travail et Vieillesse : aspects sensoriels et perceptifs ; in : Ed. Scherrer, *Précis de Physiologie du travail*, Paris, Masson, 1981, 547-570.
- PAILLARD (J.). - L'utilisation des indices physiologiques en psychologie ; in : FRAISSE (P.) et PIAGET (J.) Éd., *Traité de Psychologie Expérimentale*, *3*, Paris, P.U.F., 1966, 1-77.
- PAIVIO (A.) and CSAPO (K.). - Picture superiority in free recall : Imagery or dual coding ? *Cognitive Psychology*, 1973, *5*, 176-206.
- POULTON (C.). - Skilled performance and stress ; in WARR (P. B.) Éd., *Psychology at work*, Middlesex, Londres, 1971.
- QUEINNEC (Y.), DOREL (M.), DE TERSSAC (G.) et THON (P.). - Travail posté et régulations comportementales inter et intra-individuelles. *Doc. ron., DGRST*, 1980, 45 p.
- REINBERG (A.), FRAISSE (P.), LEROY (C.), MONTAGNER (H.), PEQUIGNOT (H.), POULIZAC (H.) et VERMEIL (G.). - *L'homme malade du temps*, Paris, Pernoud-Stock, 1979, 260 p.
- REINBERG (A.). - Fatigue et rythmes biologiques in : BUGARD (P.) Éd., *Stress, Fatigue et dépression*, *1*, Paris, Doin, 1974, 41-55.
- SPERANDIO (J.-C.). - *La Psychologie ergonomique*, 1980, Paris, P.U.F., 1980, 254 p.
- SZAFRAN (J.). - Experiments on the greater use of vision by older adults. *Third Congress of international Association of Gerontology*, 1954, 231-235.
- THAYER (R. E.). - Towards a psychological theory of multi-dimensional activation (arousal). *Motivation and Emotion*, 1978, *2*, 1-34.
- VON UEXKÜLL (J.). - *Mondes animaux et monde humain*, Paris, Gonthier, 1956, 166 p.
- WISNER (A.). - Electrophysiological measures for tasks of low energy expenditure ; in : SINGLETON (W. T.), FOX (J. G.) and WHITFIELD (D.) Éd., *Measurement of Man at Work*, Londres, Taylor and Francis, 1971, 61-73.
- WISNER (A.). - A quel homme le travail doit-il être adapté ? *Doc. ron. CNAM*, 1971, 30 p.
- WISNER (A.). - Éléments de méthodologie ergonomique ; in : SCHERRER (J.) Éd., *Précis de physiologie du travail*, Paris, Masson, 1981, 521-539. □

LA CONDUITE DE PROCESSUS CHIMIQUES : PRESENCE
ET PRESSION DU DANGER

F. DANIELLOU

Laboratoire de Physiologie du Travail et d'Ergonomie
du Conservatoire National des Arts et Métiers

Communication présentée au

1^o COLLOQUE NATIONAL DE PSYCHOPATHOLOGIE DU TRAVAIL

PARIS - 27 et 28 Septembre 1984

41 rue Gay-Lussac
75005 PARIS

Tél. (1) 325.64.60
(1) 354.18.27

Ligne directe
Secrétariat du Laboratoire.

LA CONDUITE DE PROCESSUS CHIMIQUES : PRESENCE ET
PRESSION DU DANGER

F. DANIELLOU

Quiconque a pu, une fois, pénétrer au cœur d'une grande usine chimique, garde pour longtemps la mémoire des flammes, des odeurs, des fuites de vapeur, des têtes de mort sur les sacs et les fûts, ou des masques à gaz qui attendent, alignés, sur les étagères de la cantine.

Cependant, mais cela ne surprendra personne ici, ce danger présent partout sur les installations n'apparaît dans les conversations des opérateurs qu'à des occasions précises ou sous des formes allusives.

Face à cette situation, l'ergonome n'a pas les compétences pour étudier la genèse psychique des angoisses qu'il perçoit ou leur résonance sur la personnalité spécifique de chaque opérateur. Ce n'est d'ailleurs pas son rôle. Il s'agira ici, beaucoup plus modestement, d'apporter sur la question du danger l'éclairage que permet une analyse fine de l'activité de conduite, et, dans un deuxième temps, de s'interroger sur les relations entre danger et charge de travail dans de telles situations.

. Première question donc, que fait un opérateur de conduite de processus ? La question n'est pas sans importance pour le sujet qui nous occupe, puisqu'il s'agit en fait de savoir si le contact avec le danger est un contact réel, ou s'il y a seulement fantasme de danger, toutes les précautions techniques permettant qu'il n'y ait aucun facteur de risque réel.

Nous prendrons l'exemple (1) des opérateurs de conduite d'une raffinerie qui, depuis la salle de contrôle et en collaboration avec des opérateurs extérieurs, régulent le processus. Plus de 600 capteurs fournissent en permanence des mesures qui sont traitées par un ordinateur et disponibles sur des écrans, donnant au visiteur le sentiment d'une connaissance précise et d'une maîtrise complète de l'état instantané du processus.

L'analyse du travail révèle cependant tout ce que la conduite comporte d'incertitudes. Incertitude d'abord sur la fiabilité des indications fournies par les capteurs, toujours susceptibles de pannes et dont les informations doivent systématiquement être confrontées à d'autres indices. Incertitude sur l'état réel des vannes ensuite, puisque leur ouverture affichée en salle se révèle parfois être fausse, comme ce fut le cas à Three Miles Island (2). Incertitude sur les matières premières, et l'on n'imagine pas les découvertes inattendues que l'on peut faire dans une cuve de pétrole brut. Incertitude sur des réactions chimiques qui ont été testées en laboratoire, mais dont les transpositions à l'échelle industrielle sont en partie hypothétiques. Incertitude sur l'état des unités, où ont toujours lieu des travaux dont le suivi est entrecoupé par les alternances d'équipes propres au travail posté. Incertitude sur les consignes dont la mise à jour est douteuse : "ça s'appliquait avant le changement de cuve, maintenant on ne sait pas". Incertitude même sur la signification précise des diverses sirènes d'alerte dont les essais ponctuent la vie de l'usine. Incertitude finalement sur l'issue d'une manoeuvre, lorsque l'ampleur des dérèglages ne permet pas de prévoir s'il sera possible de les contenir, s'il faudra arrêter l'unité, ou bien si ...

Dans une salle de contrôle de l'industrie chimique, se succèdent ainsi des périodes assez calmes, et des périodes perturbées où l'ensemble de l'équipe s'emploie à contenir un dysfonctionnement qui prend de l'ampleur. "Pourquoi est-ce que cette température continue à monter ?". Répondre à cette question, inverser la tendance, va supposer, pendant parfois des heures, une intense activité de recherche et de traitement de l'information, à l'extérieur, et en salle de contrôle. En salle, les valeurs seront confrontées, les plans établis, les consignes particulières relues, des hypothèses nouvelles seront élaborées, vérifiées. A l'extérieur, des tentatives sur des vannes, des vérifications visuelles, des prises d'échantillons auront lieu pour diminuer l'incertitude sur la situation en cours. Un trafic radio soutenu sera le signe de la complémentarité des activités entre l'équipe extérieure et la salle de contrôle.

Si l'on veut caractériser ces phases perturbées de la conduite de processus, on pourrait dire que l'équipe gère le danger en situation d'incertitude sur l'état actuel et sur l'issue.

L'ergonome qui a assisté à de telles périodes, qui a analysé l'activité au cours de ces heures, et qui a constaté l'état d'épuisement des opérateurs à la fin du poste, est convaincu que ceux-ci ont eu, ce matin-là, une charge de travail très importante. Mais qu'est-ce que cela signifie, et quel rapport avec le danger ? La deuxième partie de cette intervention va, dès lors, s'attacher à discuter cette question de la "charge de travail" pour tenter d'approcher la façon dont le danger l'affecte.

. L'approche la plus fréquente de la charge de travail est une approche cumulative faisant explicitement, ou implicitement, référence à une équation du genre :

$$\text{Ch W} = \text{Ch } \Psi + \text{Ch M}$$

Ch W : charge de travail; Ch Ψ : charge physique; Ch M:charge mentale ou cognitive, à laquelle, depuis quelques années, à la suite en particulier des premiers travaux de C. Dejours (3) vient s'ajouter un terme Ch Ψ (charge psychique) désignant les astreintes susceptibles d'affecter la santé mentale. Disons-le maintenant, cette approche arithmétique ne nous semble pas permettre de rendre compte de la réalité perçue par chaque opérateur comme sa "charge de travail" à un moment donné. Et comme il ne suffit pas, pour en approcher la compréhension, de dire que "la charge de travail a un caractère global", nous allons vous demander pendant quelques minutes de nous accompagner dans un très bref survol de quelques acquis de 30 ans d'ergonomie francophone (4) :

1 - Les modes opératoires sont des compromis intégrant les exigences de la tâche, et les caractéristiques propres de l'individu à l'instant donné. L'un des meilleurs exemples est la posture adoptée pour travailler, qui n'est pas le résultat d'un véritable choix, mais bien un compromis intégrant les exigences visuelles, les caractéristiques de la personne, ses dimensions, ses limitations articulaires, et son état de fatigue à un moment donné (5).

2 - Ces compromis circulent

Un peu à la façon du recrutement alternatif des fibres musculaires dans la contraction d'un muscle, divers modes opératoires sont parfois alternés pour soulager successivement les fonctions les plus sollicitées. Deux exemples permettent d'illustrer cette circulation : l'alternance assis-debout que l'on constate chaque fois que le poste le permet en est un, l'autre exemple pouvant être les stratégies utilisées lors de la vérification de données chiffrées sur un écran d'ordinateur : pour comparer les 15 chiffres figurant

sur le document et ceux présents sur l'écran, deux stratégies extrêmes sont possibles : mémoriser les 15 chiffres et effectuer un seul déplacement visuel, ou effectuer 15 allers-retours. En réalité, la stratégie observée sera des alternances de séries intermédiaires plus ou moins longues, sollicitant de façon différente, la mémoire à court terme et la fonction visuelle.

3 - Ces compromis circulent, de façon personnalisée, entre des sphères différentes

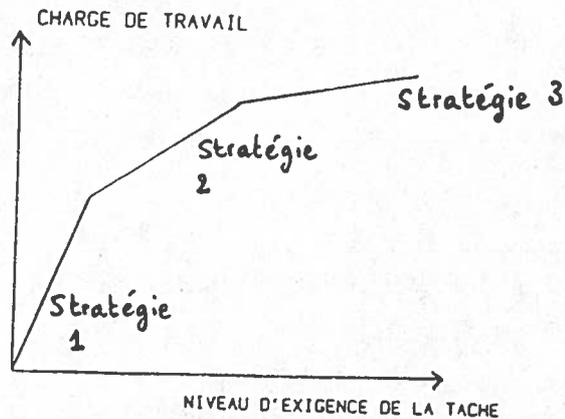
Grâce aux travaux de la psychopathologie du travail (6), on sait maintenant que ces compromis circulent, non seulement entre la sphère de la transformation de l'énergie et celle du traitement de l'information, mais au niveau de l'économie psychosomatique globale du sujet. A ce niveau de discussion, le terme de "mode opératoire" est un peu faible pour désigner "la façon de s'y prendre avec son travail" dont il est, en fait, question. Un exemple extrêmement démonstratif de cette économie globale est révélé par l'étude du travail en équipes alternantes (7). S'il ne fait pas référence à cet équilibre global, le physiologiste demeure interdit devant la réaction de travailleurs se mettant en grève pour conserver des nuits de travail, et le cognitiviste ne comprend pas pourquoi il est si mal vécu de finir son poste sans avoir soldé les incidents en cours.

• Eh bien, cette remarque clôt la parenthèse que nous vous avons demandé il y a quelques instants de nous accorder puisque, lorsque nous balisons cette circulation des compromis par les limites qu'impose l'organisation du travail, nous sommes maintenant en mesure de proposer non pas une définition, mais un regard différent sur la charge de travail.

"La charge de travail, c'est l'état de fermeture de l'éventail des modes opératoires qui permettent une issue".

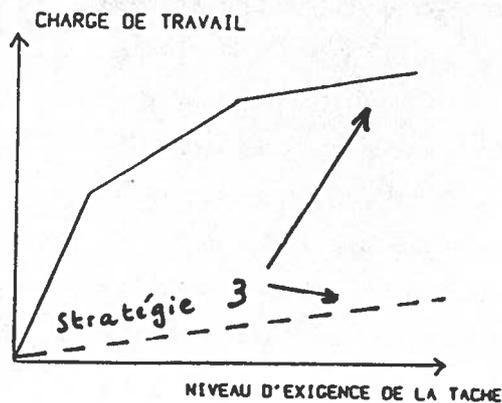
C'est-à-dire que, finalement, ce que décrit une augmentation de la charge de travail, c'est qu'il y a de moins en moins de manières "d'y arriver", que seul reste possible un mode opératoire, qui devient, de ce fait, coûteux.

Cette perspective doit, bien sûr, être essayée au contact avec d'autres, et nous avons choisi de relire avec vous le célèbre schéma de Sperandio (8). Issue en particulier de travaux sur les contrôleurs du ciel, cette figure :

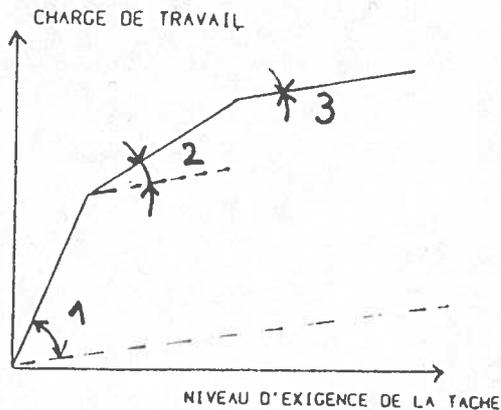


D'APRES SPERANDIO 1980

indique que, lorsque le niveau d'exigence de la tâche, par exemple le nombre d'avions augmente, la charge de travail augmente moins vite, grâce à la mise en oeuvre de stratégies de plus en plus économiques. On peut alors se demander pourquoi l'opérateur n'adopte pas, dès le début, la stratégie la moins coûteuse :



Sperandio fait appel à des critères "qualitatifs". Nous proposons, quant à nous, de nous attarder au fait que, pour les faibles niveaux d'exigence de la tâche, l'opérateur a le choix entre plusieurs stratégies, et que, progressivement, les degrés de liberté diminuent ne permettant plus qu'une stratégie de performance instantanée maximum. (voir figure page suivante)



Si nous avons à redessiner ce graphique, nous n'inscririons en ordonnée qu'une astreinte partielle, par exemple les changements de regards ou le nombre de communications, et nous réserverions le terme de charge de travail à cette fermeture progressive de l'éventail des modes opératoires.

Cette perspective, incomplète et provisoire, nous semble, si elle était précisée, susceptible de révéler trois intérêts :

1^o piste : elle permettrait d'établir un lien entre la charge de travail de l'O.S. à qui la voiture échappe avant d'être terminée, celle de l'opérateur qui doit attentivement surveiller un voyant qui ne s'allume jamais, ou celle des opérateurs que nous avons abandonnés tout à l'heure en salle de contrôle, sans qu'ils sachent s'ils arriveraient à faire baisser la température. Pour ces derniers, par exemple, la pression du danger n'est pas un élément singulier de charge, qui viendrait s'ajouter à une charge cognitive et une charge visuelle. Alors qu'en situation non dangereuse, l'opérateur a le choix entre diverses stratégies, en particulier d'anticipation, la pression du danger vient le contraindre à répondre au coup par coup aux alarmes qui se succèdent, parant au plus pressé, sans pratiquement plus de maîtrise sur son mode opératoire.

2^o piste : Pour qui a pour fonction d'investiguer les relations entre charge de travail et santé, il n'est plus possible d'ignorer que toute conception moderne de la santé porte sur l'économie psychosomatique globale. Pour notre part, nous faisons explicitement référence à la définition d'Octobre 82 de C. Dejours (9) :

"la santé pour chaque homme, femme ou enfant, c'est d'avoir les moyens de tracer un cheminement personnel et original vers le bien-être physique, psychique et social".

Il reste, au niveau de l'analyse fine de l'activité réelle de travail, qui constitue pour nous le coeur de la pratique ergonomique, à identifier dans chaque situation ce qui vient limiter la circulation des compromis individuels.

3^o piste : l'ergonome, le médecin du travail, le psychologue qui interviennent dans une situation de travail, ont besoin d'un critère pour évaluer leurs propres interventions. A l'opposé du "one best way" taylorien, la conception économique de la charge de travail vient nous interroger : avons-nous, par notre intervention, contribué à augmenter les degrés de liberté dont dispose chaque opérateur ou opératrice pour construire son propre cheminement ?.

Références

- (1) DANIELLOU F., BOEL M., DESSORS D., LAVILLE A., TEIGER C., VILLATTE R. (1983)
L'activité des opérateurs de conduite dans une salle de contrôle de processus automatisé.
Rapport n° 75 - Laboratoire de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du C.N.A.M. (Parution Déc. 84).

Voir également :

- BOEL M., DANIELLOU F. (1984) Elements of process control operator's reasoning: activity planning and system and process response times,
et
DANIELLOU F., BOEL M. (1984) : Automatized process control : the roles of computer available information and field collected information. Symposium Ergonomics Problems in Process Operations. Birmingham, 1984, Pergamon Press.

- (2) VITTE J. (1981)
Etude des facteurs humains de la sûreté.
Rapport CEA/DSN/BC 2191 n° 46

- (3) DEJOURS C. (1978)
L'organisation du travail et ses effets pathogènes.
Rapport Fondation Royaumont/Ministère du Travail.

(4) Après :

- "OMBREDANE A., FAVERGE J.M. (1955)
L'analyse du travail - Paris PUF",
les travaux réalisés en particulier par :
Laboratoire de Psychologie du Travail de l'EPHE
Laboratoire de Physiologie du Travail-Ergonomie du C.N.A.M.
Laboratoire de Psychologie Industrielle ULB Bruxelles
Groupe de psychologie ergonomique, IRIA

- (5) LAVILLE A., 1980
Postural reactions related to cognitive and visual activities
in "Ergonomic aspects of visual display terminals" GRANDJEAN ed.
pp. 167-174. TAYLOR and FRANCIS, London.
LAVILLE A., TEIGER C., NADEL J., NETCHINE J. (1976)
Contribution à l'étude des référentiels spatiaux chez l'enfant et au cours des âges adultes.
Note au séminaire du Laboratoire de Psychologie du Travail EPHE, Paris, 34p.

(6) DEJOURS C. (1981)

Travail, usure mentale'

Ed. Centurion, Paris

(7) Voir par exemple :

QUEINNEC Y., TEIGER C., DE TERSSAC G. (1984)

Repères pour négocier le travail posté.

Université de Toulouse-Le Mirail

(8) SPERANDIO J.C. (1980)

La psychologie en ergonomie

PUF, Paris

(9) DEJOURS C. (1982)

Intervention à des militants d'entreprise de
prévention de la santé.

Texte ronéoté Métallurgie CGT, Paris.

POSSIBILITÉS OUBLIÉES EN MATIÈRE D'HABILETÉ ET DE CHARGE DE TRAVAIL

par L. BAINBRIDGE¹

Département de Psychologie, Université de Reading, Reading RG6 2AL, Angleterre

RÉSUMÉ

La présente étude suggère que la nature de l'habileté au contrôle de processus réside dans la possibilité de changer le mécanisme de décision lorsque la connaissance du comportement du processus s'améliore. Au cours de l'apprentissage, le feed-back sur le fonctionnement du processus indique les corrections et les ajustements nécessaires. Un opérateur expérimenté connaît le bon ajustement, aussi sera-t-il moins souvent tenu de vérifier et de corriger à la fois le processus et son propre comportement. Il bénéficie d'une charge de travail réduite et d'une capacité de travail accrue. Le choix des actions de contrôle appropriées exige que l'on connaisse les effets de son propre comportement aussi bien que le comportement du processus lui-même et que l'on évalue le contexte. Si le comportement est destiné à l'entretien de l'état physique et mental de l'opérateur aussi bien qu'à celui du processus, ceci exige une connaissance accrue des potentialités de son propre comportement, de son état interne et des critères d'acceptabilité de son propre état. Des exigences élevées d'une tâche peuvent conduire à des incidents parce qu'elles entraînent des situations de décision non familières, de telle sorte que l'opérateur est renvoyé à des types de comportements inexpérimentés et moins efficaces.

I. — INTRODUCTION

Même dans le plus simple des cas il est possible d'accomplir une tâche de plusieurs manières, aussi doit-il exister un processus mental qui n'est pas nécessairement conscient et qui détermine le comment, le quand et le si du comportement d'une personne. La décision en face d'alternatives nécessite plusieurs types de connaissances. La connaissance des comportements actuels et potentiels de l'environnement et celle de leur importance et de leur coût sont essentielles dans le choix des actions appropriées. Choisir une stratégie convenant à la fois aux exigences externes présentes et à l'état physique et mental de quelqu'un nécessite de la part de ce quelqu'un une connaissance semblable de ses propres actions mentales et physiques.

Nous analyserons ici explicitement cette connaissance et cette prise de décision, mais nous examinerons aussi ce qui n'est pas explicite mais implicite dans les jugements et impressions qui sont le plus souvent utilisés. Nous suggérerons qu'avec une expérience accrue le nombre et la complexité des « déci-

1. L'auteur tient à remercier le P^r Leplat et ses collègues du Laboratoire de Psychologie du Travail pour leurs nombreuses discussions, si intéressantes et précieuses, lors de la phase préparatoire de cette étude.

sions » relatives à une tâche sont réduits, de telle sorte que la somme de travail mental nécessaire à l'exécution d'une tâche donnée se trouve aussi réduite et que l'acquisition de l'habileté réside dans cette modification des connaissances et de la prise de décision. Nous suggérerons aussi que ces décisions qui engendrent la séquence de comportement sont un foyer d'incidents quand les exigences de la tâche sont élevées. Dans des conditions normales, l'opérateur s'efforce de contrebalancer les exigences de la tâche et les exigences mentales dans son comportement. L'accroissement des exigences de la tâche entraîne des modifications des priorités dans le comportement, auxquelles le sujet n'est pas nécessairement préparé.

II. — UNE TÂCHE SIMPLE DE CONTRÔLE

Nous illustrerons ces généralités par des exemples empruntés principalement au contrôle de processus, c'est dire à la tâche qui consiste à contrôler une partie dynamique particulière du monde extérieur, par exemple, la température d'un four ou d'une chaudière dépourvue de thermostat, le four ou la chaudière constituant le processus¹. Les exemples serviront à illustrer la prise de décisions et l'habileté dans ce type de tâche de contrôle simple. L'analyse approfondie de la prise de décisions impliquée par des tâches de traitement de l'information, des tâches complexes à variables multiples, ou la programmation de séquences de comportement, ferait entrer en jeu un vaste ensemble d'autres problèmes. J'espère cependant que les principes et inférences les plus généraux ne différeraient pas de ceux présentés ici.

Considérons la tâche consistant à porter la température d'un four ou d'une chaudière d'une valeur constante à une autre. De nombreuses études ont montré (par exemple, voir Edwards et Lees, 1974) que lorsqu'un opérateur inexpérimenté essaie d'effectuer une telle modification de température la variable contrôlée oscille de part et d'autre de la valeur cible et que l'opérateur agit fréquemment sur l'alimentation électrique pour parvenir à régler la température. Lorsque la tâche est accomplie par un opérateur expérimenté, la variable contrôlée parvient sans oscillations jusqu'à la cible et l'opérateur effectue seulement quelques interventions. La plupart de ces interventions sont faites avant qu'il n'y ait eu de gros changements dans la variable contrôlée, aussi sont-elles faites plutôt par anticipation qu'en « réponse » aux résultats d'interventions précédentes. Le choix correct de l'ampleur et du moment des interventions anticipées est essentiel si l'on veut que celles-ci réussissent, aussi nécessitent-elles une connaissance exacte des relations entre les actions de contrôle et le comportement du processus. Si l'opérateur possède cette connaissance, un minimum d'effort lui sera nécessaire pour obtenir un comportement régulier et efficace du processus, et c'est ce qui est généralement reconnu comme l'habileté.

Pour contrôler, l'opérateur doit choisir si oui ou non il faut une intervention, l'ampleur et le moment de cette intervention, s'il doit en vérifier le résultat et comment faire cette vérification du point de vue qualitatif. Les trois pre-

1. Le terme de processus sera également utilisé dans ce papier en référence au traitement mental de l'information. J'espère que le contexte éclairera suffisamment le lecteur sur la valeur propre du mot.

mières « décisions » sont liées entre elles par la référence à un arrière-plan commun de connaissances sur le comportement du processus.

En étudiant ces choix, nous ferons une analyse explicite des processus nécessaires. Toutefois, l'emploi de mots comme « choix » et « décision » n'implique pas que l'opérateur soit nécessairement confronté avec des alternatives d'une manière consciente et explicite. Souvent il utilise des jugements qui ne se prêtent pas à l'introspection ni au compte rendu verbal, et dans lesquels la nature et l'utilisation de la connaissance de la tâche sont implicites. Les tâches de contrôle peuvent être exécutées de manières très diverses, depuis l'opérateur qui travaille « au jugé » et qui est bien incapable de rendre compte de ce qu'il fait sinon en le faisant (c'est ainsi que la plupart d'entre nous conduisons une voiture), à l'ingénieur qui a besoin de connaître explicitement les raisons régissant le comportement du processus.

II.1. Utilisation de la connaissance du processus

II.1.1. Ampleur et coordination temporelle des interventions

Quiconque débute dans l'apprentissage du contrôle d'un processus peut être confronté à un dispositif de signalisation indiquant la valeur de la variable à contrôler et à un bouton de commande agissant, peut-être avec un certain retard, sur la valeur de la variable contrôlée. La tâche consiste à modifier la variable contrôlée pour la porter d'une valeur à une autre, mais rien n'indique au débutant (sans aide extérieure) comment sélectionner le réglage approprié parmi toutes les possibilités offertes. Même le fait de tourner le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre pour augmenter la valeur de la variable n'est, pour lui, qu'une hypothèse non vérifiée. Il lui faut essayer un réglage au hasard ; sa forte incertitude quant au résultat de son intervention fait qu'il voudra le vérifier immédiatement.

Ce *feed-back* indiquant que son action n'a pas été réussie est exploité essentiellement de deux façons. Il indique la nécessité d'une nouvelle intervention pour atteindre l'objectif. Il indique également que l'intervention précédente n'était pas la meilleure à utiliser dans ces circonstances. Pour améliorer son contrôle, il faudra peut-être que l'opérateur modifie son hypothèse concernant les sens respectifs de mouvement du cadran et de la commande. Il devra alors ajuster l'ampleur des manœuvres du bouton de commande jusqu'à obtenir un alignement correct entre le comportement présent du processus et l'intervention qui amènera celui-ci à la valeur requise. Il se peut qu'il apprenne à contrôler « au jugé », de sorte que, dans une situation donnée, il sache quelles interventions donneront le résultat souhaité, mais sa connaissance du comportement du processus n'est pas indépendante de son propre comportement ; elle n'est qu'implicite dans ses réponses au processus. Si, au contraire, elle revêt une forme explicite et distincte, l'opérateur peut réfléchir sur le comportement du processus indépendamment de ses interventions sur celui-ci. Il peut alors prévoir le comportement du processus et agir préventivement sur-le-champ, ou bien préparer des interventions à l'avance (voir plus loin une discussion plus approfondie de l'apprentissage en II.5).

Etant donné que l'opérateur expérimenté sait ajuster parfaitement l'état du processus et intervention appropriée, la nécessité d'un choix entre plu-

sieurs interventions n'existe plus pour lui. L'incertitude quant à l'effet de ses interventions étant moindre pour lui, il a moins besoin de vérifier le comportement du processus. Comme ses premières interventions sont correctes, il lui faut moins souvent intervenir de nouveau pour atteindre l'objectif. Comme ses interventions sont réussies, il ne lui est pas non plus nécessaire d'apprendre, c'est-à-dire d'ajuster son propre comportement. S'il peut prévoir le comportement du processus, il peut anticiper la nécessité d'une intervention et peut ainsi choisir celle-ci, non pas au moment où elle est exigée, mais auparavant, dans un moment de faible charge de travail. En cas de nécessité, il peut alors réagir immédiatement, sans passer par les processus de décision et avec moins d'incertitude. En conséquence, il fait beaucoup moins appel à l'activité mentale et physique que l'opérateur inexpérimenté, aussi sa charge de travail est-elle plus faible pour une performance donnée et sa connaissance du processus primordiale dans cette réduction.

En observant le comportement d'un opérateur compétent, on peut facilement oublier combien il existe d'alternatives pour un opérateur inexpérimenté, et combien de décisions ne sont plus à prendre pour l'opérateur expérimenté. Le comportement du débutant n'est en aucune façon un sous-comportement de celui de l'opérateur expérimenté, mais il est d'une nature différente, plus complexe sous certains rapports et moins complexe sous d'autres. Le *feed-back* est nécessaire pour acquérir la compétence, mais en fait être compétent, c'est atteindre un stade dans lequel le « *feed-back* » est nécessaire au minimum, le travailleur compétent ayant une connaissance suffisante des propriétés de l'environnement et de son propre comportement pour opérer sans importantes vérifications, en boucle ouverte.

II.1.2. Vérifier ou non le résultat de l'intervention

L'opérateur peut acquérir la connaissance de l'état présent du processus, soit par vérification (échantillonnage) de celui-ci, soit par extrapolation à partir de l'information obtenue dans le dernier échantillon. Chaque fois que l'opérateur ne surveille pas le processus, il se trouve dans une situation de pari par rapport à l'état du processus. Il doit mettre en balance le besoin d'un échantillon et l'effort nécessaire pour prélever celui-ci, puis décider ce qui est le plus important (pas nécessairement consciemment). Ces facteurs utilité et coût peuvent changer à mesure que la compétence se développe. De plus, des facteurs d'évaluation plus généraux sont impliqués, tels que l'attitude générale de l'opérateur vis-à-vis de son travail (voir plus loin, II.4 pour une discussion plus détaillée).

La nécessité d'une vérification dépendra de l'incertitude de l'opérateur quant à l'état du processus, qui dépendra elle-même de sa connaissance du comportement de celui-ci (on considérera ici que l'échantillonnage dépend de l'incertitude, bien que cela soit une simplification excessive). Un débutant n'a aucune connaissance relative aux effets de son intervention, il a donc grand besoin de vérifier ce qui se passe. A mesure que l'expérience s'accroît, l'incertitude, et par conséquent le besoin d'échantillonnage, décroît (Crossman *et al.*, 1964). Il y a interaction entre l'importance de cette incertitude et les tolérances relatives au fonctionnement du processus ; par exemple, si l'opérateur sait seulement que la valeur se situe dans un intervalle, mais que cet intervalle est dans la limite de tolérance, alors cette valeur est acceptable.

II.1.3. *Faut-il ou non intervenir ?*

Ayant effectué une intervention et vérifié son effet, l'opérateur doit décider si une autre mesure correctrice est nécessaire ou non. C'est là encore une situation de pari, puisque l'opérateur doit peser la nécessité d'une intervention du point de vue de la tâche de contrôle, d'une part, et de l'effort qu'il doit fournir pour choisir et exécuter l'intervention, d'autre part.

En d'autres termes, le besoin d'intervention peut être déterminé en mesurant la différence entre l'état présent et l'objectif à atteindre, et en évaluant si cette différence est acceptable ou non (en supposant le cas le plus simple où les interventions de contrôle sont faites en réponse aux seules erreurs de contrôle). Une définition simple serait : l'état du processus est acceptable s'il se situe à l'intérieur des limites : objectif \pm tolérance (seuil). Toutefois il semble évident que l'opérateur expérimenté utilise des types d'évaluation plus raffinés, comme il se comporte différemment selon que le rendement du processus est proche des limites de la zone cible ou en son centre. Crossman *et al.* (1964, tableau 2) ont montré que l'opérateur vérifie l'état du processus moins souvent lorsque cette valeur du rendement est centrale.

L'évaluation de l'état du contrôle non plus n'est généralement pas effectuée par des calculs, mais par un mécanisme différent. En jugement absolu, une valeur existante est comparée à la moyenne et à l'étendue des valeurs subjectives attendues pour donner de larges catégories d'évaluation, par exemple, très faible, faible, moyen, etc. Dans de tels jugements, mesure et évaluation ne sont pas des processus distincts, les mesures étant faites directement en termes relatifs. Il semble évident qu'une méthode similaire est employée dans le contrôle de processus, si ce n'est que dans ce cas les jugements se rapportent à l'objectif du contrôle et que les catégories sont des catégories d'intervention, par exemple, diminution nécessaire, au-dessus de l'objectif, en plein dessus, en-dessous, augmentation nécessaire (Bainbridge, 1971, tableau 4). L'état du contrôle peut donc ne pas être évalué indépendamment de ses implications dans l'intervention. L'opérateur apprend les graduations entre ces catégories qui se chevauchent par interaction avec le processus. Il peut, par exemple, juger qu'un processus ne nécessite aucune intervention. Si, par la suite, le comportement du processus révèle qu'une intervention aurait dû être faite, il doit revoir son jugement, et ainsi il apprend à faire coïncider état du processus et catégorie d'intervention. Ceci pourrait se faire en jugeant les différents angles d'inclinaison d'une aiguille de cadran, par exemple, sans jamais connaître la valeur variable effective correspondant aux graduations entre les catégories. Les critères d'évaluation, qui sont pour l'opérateur un aspect de sa connaissance du comportement du processus, ne sont donc pas nécessairement explicites ni perçus consciemment, mais participent implicitement au processus de jugement. Etant donné que le jugement absolu ne peut intervenir valablement qu'après expérience, il constitue une autre sous-tâche, plus difficile pour l'opérateur inexpérimenté.

II.1.4. *Remarques générales*

Comme nous l'avons vu, choisir une intervention, la vérifier et décider d'une nouvelle intervention sont des choses liées entre elles par l'utilisation de la connaissance du processus. On peut avancer que si le contrôle se fait

« au jugé » ces décisions de trois types sont prises d'une façon combinée dans laquelle la connaissance et les critères de « choix » sont implicitement contenus dans les catégories de jugement. L'évaluation de l'état du contrôle fait entrer en ligne de compte la nécessité d'une intervention et l'ampleur de l'intervention. Pour l'opérateur expérimenté, l'ampleur de l'intervention choisie correspond à l'état du contrôle avec un minimum d'incertitude quant à son effet, alors que l'opérateur inexpérimenté doit revoir ses évaluations sur la base d'une nouvelle information en *feed-back*, et son apprentissage doit continuer jusqu'à ce que l'incertitude soit minimale.

Dans une analyse formelle des décisions de contrôle, la connaissance du comportement du processus et celle des critères d'évaluation pour la prise de décision sont distinctes et indépendantes. Toutefois, quand un opérateur contrôle « au jugé », les critères d'évaluation par lesquels l'état du processus est affecté à une catégorie particulière de réaction constituent la connaissance du processus.

Nous avons centré notre discussion sur une tâche simple de contrôle, dans laquelle l'objectif est une valeur stationnaire et où l'opérateur apprend le comportement du processus à contrôler. Pour poursuivre une cible variable (*tracking*) l'opérateur doit aussi apprendre le comportement régulier ou probable de l'environnement, et utiliser ces connaissances conjointement à celle de la dynamique du processus (voir Poulton, 1957 ; Young, 1969 ; Pew, 1974 a). Nous savons très peu de choses sur les processus d'intégration et de coordination impliqués dans le contrôle d'un processus complexe à nombreuses variables susceptibles d'interactions. L'opérateur doit apprendre à connaître ces interactions, y compris les redondances d'information, et apprendre comment échantillonner efficacement dans le temps ces changements à variables multiples et liés entre eux.

II.2. Méthodes qualitativement différentes et connaissance par l'opérateur de son propre comportement

La plupart des comportements possibles étudiés jusqu'ici différaient quantitativement, par exemple, pour les différentes dimensions de leur organisation temporelle. En II.1.3, nous avons vu que l'opérateur pouvait évaluer l'état du contrôle, soit par calcul, soit par jugement ; il nous faut donc étudier aussi le processus du choix entre des méthodes qualitativement différentes d'exécution d'une même tâche. A nouveau, ce type de « décisions » fait intervenir connaissance et coûts. L'opérateur a besoin de connaître les autres méthodes possibles, les dimensions du choix entre elles, leurs valeurs sur ces dimensions, et l'état du contexte de travail qui détermine le comportement le plus approprié. L'opérateur inexpérimenté ne possède pas nécessairement ces types de connaissances, mais doit les acquérir en exécutant la tâche.

Le calcul fait appel à des valeurs numériques et à une arithmétique précise. Le jugement absolu est différent dans sa nature : les résultats sont classés en catégories relatives et imprécises ; ces catégories représentent une échelle subjective de valeurs attendues qui ne peut être constituée que par expérience d'une tâche particulière, par le *feed-back* relatif à la validité des jugements antérieurs. Pour choisir le comportement le plus approprié dans un contexte donné, il est nécessaire d'évaluer les propriétés potentielles du comportement

TABLEAU I

Exemples de dimensions relatives à des comportements de « calcul » ou de « jugement » présentés comme des comportements possibles

	Utilités et coûts potentiels		Valeurs réelles dans le contexte actuel auquel il faut se conformer
	Calcul	Jugement	
En référence aux exigences de la tâche	3 opérations Grande précision	1 opération (vécue consciemment) Faible précision	Temps disponible Niveau de précision nécessaire
En référence à l'effort pour l'opérateur	Arithmétique nécessaire 2 articles en stockage de travail	Facile après entraînement Stockage de travail pas nécessaire (supposition)	Nature des opérations mentales disponibles Capacités de stockage de travail disponibles

par rapport à ce qui est exigé par le contexte. Quelques dimensions types par rapport auxquelles cette évaluation peut se faire figurent au tableau I. D'un côté on trouve les utilités et les coûts des comportements possibles, en termes de contributions éventuelles aux exigences de la tâche (ainsi, temps passé et exactitude obtenue) et leurs coûts éventuels pour l'opérateur, en termes d'effort mental. Ces données doivent être comparées aux exigences et facilités réelles de l'environnement à ce moment précis, c'est-à-dire aux exigences du moment en matière de temps et de précision de la tâche, et aux processus et capacités intellectuelles alors disponibles. On compare ici deux stratégies au niveau du traitement de l'information ; les comportements possibles avec des composantes manuelles nécessiteraient aussi une information sur les aptitudes physiques potentielles et actuelles de l'opérateur. Encore une fois, il n'est pas dans nos intentions de suggérer que ces comparaisons sont explicites ou que cette connaissance est utilisée consciemment. L'introspection nous apprend que parfois ce qu'il convient de faire nous vient immédiatement à l'esprit, alors qu'en d'autres occasions plusieurs possibilités se présentent en l'espace d'un éclair ; on ne sait pas au juste ce qui détermine l'une ou l'autre possibilité. Il est très difficile d'obtenir des relations adéquates, à propos de ces sortes de phénomènes. Si l'on n'est pas conscient des alternatives, cela n'implique pas nécessairement que celles-ci ne sont pas prises en considération. L'opérateur pourrait « choisir » son comportement au moyen de quelque processus de jugement à variables multiples, avec la « connaissance » relative aux comportements possibles implicitement présente dans l'évaluation. L'introspection suggère aussi que l'on évalue chaque comportement possible tour à tour par rapport à tous les critères rassemblés en un certain modèle, plutôt que l'on

compare tous les comportements avec chaque critère séparément, mais tout ceci n'est que pure spéculation. (On peut également avancer que cette modélisation du contexte est un aspect important de l'intégration d'activités complexes pluridimensionnelles.)

Des études relatives à la prise de décision humaine seraient évidemment pertinentes ici, mais nous ne les aborderons pas dans le présent article, car les données disponibles à ce jour sur ce type de choix n'ajouteraient rien au débat sur les mécanismes proprement dits de la prise de décision. Il est juste de noter, toutefois, que les décisions ne sont pas nécessairement prises en maximisant les utilités, mais peuvent être prises en trouvant une méthode qui soit suffisante plutôt qu'optimale (voir exemple, en II.5.3).

Pour un opérateur expérimenté travaillant dans un environnement invariable, toute nécessité de prise de décision ou de comparaison de comportements possibles, disparaît et la tâche peut toujours être accomplie de la même manière. Cependant, le facteur « décision » sera toujours potentiellement pertinent et les autres comportements possibles peuvent réapparaître si l'environnement change. Par exemple, il se peut qu'un opérateur ait l'habitude de tourner une vanne à la main. Si un *feed-back* lui indique qu'elle est trop chaude ou trop froide, il se peut alors qu'il la manœuvre à coups de pieds ou avec une pince. Le « choix » de la solution au problème du changement d'environnement peut être facile et paraître automatique. Par contre, si aussi bien le comportement que le processus du choix sont nouveaux, cela peut nécessiter réflexion et recherche, puisque l'opérateur est inexpérimenté face à cette nouvelle situation. Cet effet de circonstances inhabituelles peut être à la base des effets de l'accroissement de la charge de travail (voir III). A l'inverse, il y a des tâches dans lesquelles l'environnement change constamment, par exemple le nombre d'avions devant être pris en charge par un contrôleur du trafic aérien. Sperandio (1972) a montré que les contrôleurs de trafic aérien modifiaient leur comportement en fonction du nombre d'avions. Dans une telle tâche, le contrôleur pratique sans cesse (il a donc acquis la compétence à la fois pour l'ensemble des comportements possibles et pour les processus qui permettent d'en changer).

L'opérateur inexpérimenté ne connaît pas les potentialités et les coûts des différents comportements possibles. Il peut seulement découvrir ces propriétés en pratiquant ces comportements (les propriétés telles que la vitesse, l'exactitude et les aptitudes intellectuelles requises peuvent également changer avec la pratique). Un opérateur expérimenté connaît bien ces paramètres et son « choix » de comportement se fait donc par anticipation des résultats. Par exemple, de Groot (1965) a montré que des joueurs d'échec expérimentés explorent le même nombre de mouvements possibles que les joueurs inexpérimentés ; la différence réside dans ce que les mouvements envisagés par les premiers sont tous potentiellement bons. Le choix entre divers comportements possibles constitue donc une autre décision, dans le cadre de la tâche, dans laquelle le sujet inexpérimenté agit par *feed-back*, alors que le sujet expérimenté travaille en boucle ouverte. Flavell (1976) souligne un point analogue dans un contexte différent lorsqu'il étudie les enfants apprenant ce qu'il appelle la « méta-communication », c'est-à-dire la connaissance des caractéristiques générales des interlocuteurs, utilisée dans le guidage progressif d'une conversation pour s'assurer que le message est bien communiqué, et la « méta-

mémoire », c'est-à-dire la difficulté des différentes stratégies mnémoniques pour le stockage et le rappel.

Il ne peut être qu'utile de connaître dans quelle mesure un comportement contribue à une tâche (par exemple la vitesse et la précision que l'on peut atteindre) si l'on peut également évaluer, ou connaître par expérience, les dimensions du contexte *des exigences de la tâche* (par exemple le temps et la précision exigés) afin que les deux puissent être comparés. De même, il est également nécessaire d'évaluer la capacité de stockage utile et quelles opérations intellectuelles sont à ce moment-là disponibles dans la tête (le contexte mental du moment) pour comparer ces données avec celles concernant l'effort mental potentiel relatif au comportement. Les propriétés de l'environnement extérieur et intérieur dans lequel travaille l'opérateur peuvent varier à chaque instant ; par exemple l'utilisation de l'information stockée varie selon les détails de la tâche, ou les types d'opérations mentales disponibles peuvent varier suivant la fatigue. Dans ce cas aussi l'opérateur inexpérimenté doit apprendre à évaluer les tâches, les valeurs physiques et mentales qui, ensemble, forment le contexte régissant le choix du comportement. L'habileté consiste à utiliser le comportement le moins coûteux et le plus efficace, tant dans la tête qu'à l'extérieur. L'adaptabilité, qui est un aspect plus important des habiletés complexes que la vitesse et la précision, peut découler de l'« habileté » à prendre des décisions d'un niveau plus élevé, en réponse aux variations du contexte de la tâche.

En II.1, nous avons étudié la connaissance que l'opérateur a du comportement du processus et qu'il utilise pour choisir ses actions de contrôle. A présent, l'analyse implique que l'opérateur a également besoin de la connaissance de son propre comportement mental et physique, s'il veut pouvoir choisir le comportement convenant aux exigences de la tâche. Nous avons aussi supposé que le choix d'un comportement par l'opérateur a non seulement pour but de contrôler l'état du monde extérieur, mais encore de maintenir son propre état physique et mental (voir III.2). Cette hypothèse implique que l'opérateur a besoin de connaissances sur d'autres dimensions de ses propres comportements et aussi d'une conscience de son propre état du moment. Elle implique également qu'en plus des critères d'acceptabilité à retenir en ce qui concerne la performance, il possède des critères d'acceptabilité pour l'état mental et physique (voir II.4). La connaissance par l'opérateur du comportement potentiel du processus est à la base de toutes ses décisions relatives au contrôle, et l'état présent du monde extérieur détermine la réponse la mieux appropriée à ce comportement, mais la connaissance qu'a l'opérateur de son propre comportement potentiel et son propre état présent est à la base de la mise en œuvre de toutes ses décisions de contrôle.

II.3. Décisions subsidiaires

Jusqu'à présent nous avons étudié quatre types de décision impliquée dans une tâche de contrôle simple. Toutes ces décisions, et le comportement physique et mental s'y rapportant, impliquent des décisions et comportements subsidiaires.

Par exemple, calculer une erreur dans l'état du contrôle implique trois opérations : trouver la valeur présente, trouver la valeur cible, et calculer la

différence. Chacune de ces opérations subsidiaires pourrait être accomplie par un certain nombre de méthodes possibles. L'opérateur pourrait trouver la valeur cible de mémoire, en interrogeant un autre opérateur, en consultant les consignes ou, pour certaines tâches, en faisant le calcul à partir d'autres variables. L'adoption de l'une de ces possibilités dépendra de la comparaison de la tâche présente et de son contexte mental avec ce qu'il sait des autres comportements possibles. Là encore l'opérateur inexpérimenté devra « découvrir » tous ces sous-facteurs et, ce faisant, il se peut qu'il altère considérablement la manière dont la tâche est accomplie.

Effectuer un changement donné dans le contrôle nécessite des décisions subsidiaires concernant l'ampleur de la manœuvre du bouton de commande nécessaire pour obtenir l'effet souhaité, et la nature du mouvement physique à exécuter sur le bouton. Chacune de ces décisions constitue une tâche subsidiaire de contrôle qui, elle-même, requiert des décisions relatives à l'ampleur et au déroulement temporel : convient-il ou non de vérifier ? Par quelle méthode ? Une nouvelle intervention s'impose-t-elle ? Evidemment, dans nombre de tâches de contrôle, le comportement de l'opérateur n'est pas aussi analytique ; on peut avancer que l'opérateur qui contrôle « au jugé » le fait par une démarche directe, partant du comportement du processus pour aller jusqu'au mouvement physique consistant à manœuvrer le bouton de commande, sans niveaux intermédiaires de conscience.

Dans d'autres tâches qualifiées, on peut avoir à traiter des objectifs subsidiaires se rapportant à l'évolution de l'environnement et n'ayant rien à voir avec la tâche principale. Par exemple si, pour se rendre à son travail, on doit traverser en voiture une place en évitant les autres véhicules en circulation. Le plan d'ensemble pour atteindre l'objectif principal, dans ce cas l'itinéraire global à suivre, peut généralement être décidé à l'avance, mais le comportement relatif à la situation propre du trafic ne le peut pas. Le résultat est que le comportement effectif est fonction de l'interaction entre l'objectif principal et les détails des conditions locales dans lesquelles on s'efforce d'atteindre cet objectif.

On peut supposer que tous les points abordés ci-dessus à propos de la connaissance, du choix et de l'habileté s'appliquent aussi à tous ces niveaux subsidiaires de l'organisation du comportement, de sorte que la connaissance de son propre comportement potentiel et de celui de l'environnement dynamique peut considérablement accroître l'efficacité, ou réduire l'effort, dans l'accomplissement de ces actions subsidiaires. Par exemple, l'habileté motrice implique l'apprentissage des mouvements sans vérification visuelle, par contrôle kinesthésique ; on peut alors faire ces mouvements en même temps que d'autres tâches ou d'autres niveaux de la même tâche nécessitant un contrôle visuel. Il y a déjà soixante ans que Lashley a suggéré que le contrôle des mouvements implique un modèle prédictif en boucle ouverte du comportement musculaire (voir Pew, 1974 a), tel que l'opérateur a une connaissance anticipée des résultats de son propre comportement physique. Celle-ci peut inclure la connaissance de la conséquence sensorielle. D'une manière générale, on peut conclure que la connaissance préalable des résultats du comportement, que ce soit dans une centrale nucléaire ou dans un gros orteil, entraîne un comportement plus efficace de la chose contrôlée, et un minimum d'effort dans les interventions et la vérification pour obtenir ce comportement. En conséquence, il se peut qu'une

intégration étroite entre les niveaux d'organisation du comportement devienne possible. Les niveaux supérieurs peuvent ne pas nécessiter la vérification du fonctionnement des niveaux inférieurs, mais suivre leur cours en supposant que certaines actions seront exécutées et que certains renseignements seront disponibles à certains moments.

II.4. *Arrière-plan des critères de décision*

Nous avons avancé que l'utilité et les coûts potentiels d'un comportement donné, tant en ce qui concerne le processus que l'opérateur, sont comparés avec les exigences réelles et l'effort disponible au moment de prendre la décision. Ce sont là des critères à court terme ; il existe également des critères à long terme : les objectifs d'ensemble de la tâche déterminés par la direction de l'entreprise et l'attitude générale de l'opérateur vis-à-vis de son travail. Il suffit de donner quelques brefs exemples des types de facteurs affectant l'attitude à l'égard du travail déjà amplement étudiés dans d'autres contextes (cf. Warr et Wall, 1975 ; March et Simon, 1958, chap. 3).

Le degré d'intérêt que l'opérateur porte à son travail n'est pas seulement déterminé par les coûts physiques et mentaux impliqués dans l'accomplissement de la tâche, ni par la menace d'être renvoyé, mais aussi par son évaluation de ce que son travail satisfait ou non ses besoins. La préférence que tel individu peut avoir pour certains types de comportement, pour le risque ou pour bien accomplir une tâche, peut affecter ses méthodes de travail, ainsi que les paramètres de sa performance. (C'est cela, par exemple, qui rend suspectes les généralisations faites à partir de résultats d'expériences de laboratoires utilisant des étudiants comme sujets. Les étudiants sont censés penser, et c'est ce qu'il convient de faire dans un laboratoire, seulement cela ne représente pas nécessairement le comportement type de personnes ayant des motivations différentes et travaillant dans une situation qui se prolonge durant de nombreuses années.)

Le travail est également une dimension de notre appartenance à un groupe social. Non seulement le type de travail mais encore notre façon de l'accomplir peuvent affecter notre appartenance au groupe. Cela peut conduire facilement à un comportement antiproductif, voire même apparemment irrationnel. Dans une étude sur le contrôle de l'alimentation électrique de cinq fours à arc pour la fusion de l'acier, nous avons rencontré un opérateur qui envisageait sans cesse des dimensions de plus en plus raffinées dans le choix des interventions, sans jamais effectuer d'intervention, bien que l'état du processus se détériorât de plus en plus. Nous avons conclu que, pour ce sujet, il était très important à la fois d'être absolument certain d'avoir raison avant de prendre la responsabilité d'une intervention, et en même temps de montrer à l'observateur qu'il avait une connaissance complète des déterminants du comportement du processus. Ceci conduit à une évaluation de critères de comportement qui semble irrationnelle lorsqu'on la considère par rapport à la tâche de contrôle. Cela est produit avec une tâche simulée, peut être ne se serait-ce pas produit à l'usine. Toutefois, Cuny (1976, communication personnelle) a donné un exemple des difficultés qui peuvent surgir à l'usine quand plusieurs opérateurs contrôlent un même processus. Les opérateurs qu'il a étudiés avaient plus de connaissances sur leur travail qu'ils n'en utilisaient pour l'accomplir. Leur

travail avait été défini comme devant couvrir certaines tâches relatives au processus. Le rendement d'ensemble du processus aurait été meilleur s'ils avaient pu sortir de ce cadre et accomplir d'autres interventions sur lesquelles ils étaient bien informés ; toutefois, ces interventions avaient été définies comme devant être prises en charge par d'autres opérateurs.

Les critères à long terme se rapportant à la quantité et au type d'effort que l'opérateur est désireux d'investir dans la tâche ne sont pas permanents, mais se développent eux-mêmes en interaction avec la tâche. Le degré de concordance entre ce que l'opérateur attend de son travail et ce qu'il réalise effectivement affecte à la fois sa satisfaction à l'égard de son travail et son niveau d'aspiration (voir plus loin, II. 5. 2). Une grande discordance entre ce qui est obtenu et ce qui est désiré dans une tâche quelconque conduira à un manque d'enthousiasme à faire face aux exigences de la tâche, ce qui apparaît à travers les symptômes classiques de désaffection à l'égard du travail que constituent les hauts niveaux d'absentéisme, le *turn-over*, le rendement médiocre et les accidents. Cet arrière-plan des critères de décision forme donc l'essentiel du contexte des décisions relatives à la tâche. On s'attendrait à ce que ce soit l'état du processus qui fournisse le contexte des décisions concernant les tâches de contrôle et, en II. 2, nous avons étudié la place de l'état mental du moment dans la prise de décision. Nous pouvons voir également que, pour l'opérateur, l'ensemble des coûts et des gains du travail pourrait être un déterminant du comportement très envahissant, et qui peut se retrouver à tous les niveaux de l'organisation de la tâche comme critère pertinent dans le choix du comportement.

2. 5. L'apprentissage

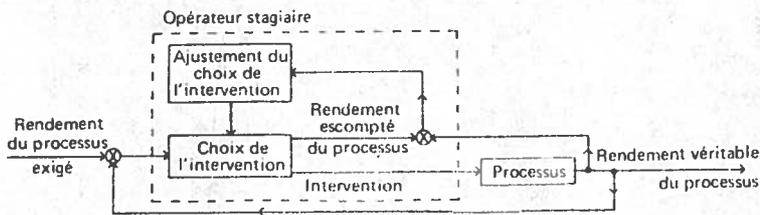
Nous avons vu comment la connaissance que l'opérateur a du processus et de son propre comportement change avec l'expérience, et comment cela peut avoir des effets importants sur la manière dont une tâche est accomplie et sur la charge de travail impliquée. Nous allons étudier à présent directement ce processus d'acquisition des connaissances et son interaction avec l'accomplissement de la tâche. Nous ne couvrirons que quelques aspects de l'apprentissage, pertinents à la présente étude. L'apprentissage du contrôle d'un processus à variables multiples, avec retards et perturbations imprévisibles, est très complexe, et la véritable compétence en matière de contrôle de processus peut continuer à se développer au long de nombreuses années.

2. 5. 1. Apprentissage du comportement d'un processus

Ainsi que nous l'avons déjà vu, si le processus ne se comporte pas correctement après une intervention de l'opérateur, cela indique non seulement que le processus a besoin d'une nouvelle correction, mais encore que les méthodes de jugement de l'opérateur, en ce qui concerne l'état du processus et le choix de l'intervention, doivent être revues. Ainsi le comportement du processus est utilisé en tant qu'information dans deux boucles de *feed-back* imbriquées à la fois dans le contrôle du processus et comme base pour le raffinement des décisions de l'opérateur concernant le contrôle du processus.

Tout apprentissage nécessite une forme quelconque de mémoire de l'action

ou du jugement précédent et de son contexte. L'opérateur devrait au moins se rappeler l'action ou le jugement, noter si le résultat était faux, et dans ce cas utiliser une action différente la fois suivante, de telle manière qu'il y ait une exploration, même non planifiée, de la gamme des possibilités. Au mieux, l'opérateur aurait une vague notion du résultat escompté de l'action qu'il a choisie. Il comparerait le résultat effectif avec le résultat escompté et utiliserait la différence pour raffiner son choix d'action et ce qu'il en attend (voir fig. 1 et Young, 1969, fig. 20). Les opérateurs étudiants de Cooke (1965) ont donné des comptes rendus verbaux au cours de leur apprentissage du contrôle d'un processus simple. Ces comptes rendus ont montré qu'ils avaient effectivement fait des hypothèses sur le comportement futur possible du processus et sur la manière dont il pourrait être contrôlé. Dans l'ouvrage précité, Young énumère un grand nombre de modèles possibles pour les mécanismes par lesquels l'opérateur s'adapte à des dynamiques particulières du processus.



Pour apprendre, de même que pour contrôler le processus, l'opérateur doit remarquer les erreurs dans le déroulement du processus, mais remarquer les erreurs peut être en soi une compétence nécessitant un apprentissage (Leplat et Pailhous, 1974). Dans certains cas les discriminations peuvent faire intervenir des habiletés perceptives qui doivent être apprises, comme par exemple juger la couleur et la texture superficielle de l'acier en fusion. Dans tous les cas, l'opérateur ne peut parvenir à des discriminations plus fines que s'il reçoit un *feed-back* tout aussi finement perceptible sur l'adéquation de sa performance.

Tous ces commentaires impliquent que l'opérateur inexpérimenté doit effectuer de nombreux types de tâches mentales et prendre de nombreux types de décisions, qui se situent à un niveau différent de celui des décisions relatives aux tâches concernant le processus et ne sont plus nécessaires une fois que ces tâches ont été apprises. Une fois que la performance atteint le niveau où l'intervention remplace le processus à l'intérieur des limites de tolérance acceptables, alors il n'est plus besoin d'apprentissage. En fait, il semble qu'après avoir atteint ce niveau de performance, l'opérateur utilise son attente comme si elle était une représentation fiable de l'état du monde extérieur. Si une discordance surgit entre ses attentes et le comportement effectif, alors il suppose que quelque chose ne va pas dans la machine plutôt que dans ses attentes. Si dans l'histoire de l'instrumentation il y a quoi que ce soit pouvant mettre en doute la fiabilité du matériel, il supposera alors que l'instrument est défectueux plutôt que le processus, et ceci pourrait être une des principales raisons pour lesquelles les opérateurs semblent ne pas se préoccuper des états inhabituels du processus qui peuvent finalement aboutir à une panne.

II.5.2 Critères et apprentissage

En parlant du contrôle d'un processus, nous avons dit que l'empressement témoigné par un opérateur dans la correction du comportement du processus dépend du degré auquel il se sent concerné par le bon fonctionnement de celui-ci. L'apprentissage est affecté par des critères analogues. L'opérateur apprendra, c'est-à-dire s'efforcera de corriger son propre comportement, seulement s'il se soucie de la différence entre la qualité présente de son travail et celle qu'il pourrait atteindre. (L'apprentissage comporte un avantage supplémentaire puisqu'une meilleure exécution de la tâche nécessite moins d'effort.) Deux types imbriqués de critères d'évaluation sont donc impliqués dans l'apprentissage. Par exemple, pour évaluer l'état du processus, l'opérateur doit apprendre les types appropriés de catégories d'évaluation, soit : intervention nécessaire maintenant ; intervention peut-être nécessaire ultérieurement ; tout va bien. Il doit aussi apprendre comment ajuster avec précision ces catégories à l'état du contrôle. Ce qui nous intéresse ici c'est le degré de précision que l'opérateur met dans ses évaluations et choix d'intervention.

Nous avons discuté précédemment de la connaissance de la tâche et de celle des critères de décision comme si elles étaient indépendantes, bien que, lorsqu'un opérateur exécute sa tâche « au jugé » elles ne soient pas distinctes (voir II.1.4). Nous pouvons voir à présent que le rapport entre les deux est complexe. Le soin apporté à discriminer les niveaux d'erreur du processus affecte l'apprentissage, qui affecte la connaissance du processus, alors qu'à son tour cette connaissance du processus détermine la qualité d'exécution atteinte qui, par interaction avec la qualité d'exécution que l'opérateur devrait atteindre, affecte le niveau d'aspiration, qui affecte le soin apporté à la tâche. Soin et connaissance sont donc liés en cercle, avec pour résultat que, si le rapport entre les aspirations et le but atteint est bon, la qualité de l'exécution s'améliorera, alors que s'il est médiocre, la qualité de l'exécution peut se détériorer. (Voir Lewin *et al.*, 1944 ; March et Simon, 1958, chap. 3 ; et Welford, 1976, pp. 126-131, pour plus amples détails sur le *feed-back* entre niveau d'aspiration et performance.) Ceci comporte des implications importantes en matière de formation. Si la tâche est d'emblée trop difficile, l'opérateur peut être amené à penser que les objectifs qui lui sont imposés pour l'exécution de la tâche sont impossibles et il travaillera selon ses propres objectifs, acceptant ainsi un niveau inférieur de réussite.

II.5.3. Apprentissage des méthodes adéquates

Les aspects de l'apprentissage étudiés jusqu'ici concernaient principalement les réglages de paramètres provoquant des modifications quantitatives dans le comportement. L'opérateur doit aussi apprendre les méthodes générales d'exécution de la tâche. Vermersch (1976) a analysé les modifications du comportement de futurs techniciens apprenant à régler un oscilloscope. Il fait l'hypothèse que le travailleur inexpérimenté commence par utiliser une méthode qui lui est suggérée par l'environnement, conjointement avec les connaissances qu'il peut avoir de la tâche. Si les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants, il doit essayer d'autres méthodes qui lui viennent à l'esprit de façon empirique (par essais et erreurs), ou à partir d'autres connaissances qu'il a, ou qui lui sont suggérées par d'autres personnes. Vermersch souligne que

l'apprenti ne cherche pas activement une bonne manière d'accomplir la tâche, mais simplement, la nécessité de réussir la tâche l'oblige à essayer d'autres choses jusqu'à ce qu'il trouve un comportement satisfaisant, cela sans qu'il soit nécessairement conscient des modifications de son comportement ni de leur nature. Le résultat dépendrait probablement du groupe particulier de personnes étudié, puisqu'il y a des gens pour qui la compréhension et l'élégance du comportement sont des buts possibles.

Qu'il le veuille ou non, l'apprenti se trouve dans une situation de résolution de problème et doit rechercher, peut-être inconsciemment, des méthodes qui lui permettent d'atteindre au moins un niveau minimal de réussite. Certains mécanismes de sélection d'alternatives et d'évaluation des résultats doivent aussi sous-tendre cette activité de résolution de problème. Celle-ci sera plus complexe que dans le simple cas de réglage des paramètres du comportement de contrôle. Encore une fois, l'apprenti doit adopter plusieurs comportements se rapportant au développement de son habileté en plus du comportement directement nécessaire pour exécuter la tâche.

Il est évident que même une tâche simple requiert une somme considérable de connaissances de types différents, sur les ajustements, les critères et les méthodes, si l'on veut que les « décisions » relatives à la tâche soient efficaces. Beishon (1969) a dressé la liste des types de connaissance ou « ensemble de faits associés » nécessaires dans une tâche complexe à un opérateur contrôlant un four à pâtisserie à fonctionnement continu : profils de températures de cuisson pour chaque type de gâteau, leurs tolérances ; diverses dispositions des brûleurs pour obtenir ces profils ; méthodes pour passer d'un profil à un autre ; méthodes pour corriger les défauts du produit ; types de gâteaux envisagés et organisation des temps de cuisson. Dans beaucoup de situations industrielles l'opérateur doit découvrir par lui-même ces types d'information ; il n'est donc pas surprenant que le comportement d'un opérateur même expérimenté ne soit pas optimal. Il se peut qu'il n'ait pas l'arrière-plan d'information nécessaire lui permettant d'acquérir une connaissance adéquate de l'installation sans aide quand il lui arrive de chercher certaines choses. Il n'est pas surprenant non plus que des personnes soient troublées et inquiètes lorsqu'elles accomplissent une tâche complexe pour la première fois ; si l'on analyse tout ce que cela implique, il est plus surprenant qu'elles puissent même y parvenir.

III. — CHARGE DE TRAVAIL

Nous avons déjà présenté une somme considérable d'arguments à l'appui de la notion selon laquelle l'opérateur inexpérimenté doit fournir beaucoup plus de travail mental que l'opérateur expérimenté pour faire face au même niveau d'exigences de la tâche. Nous résumerons d'abord cette idée, puis nous étudierons comment les décisions comportementales se trouvent peut-être à l'origine des chutes de performance dans les tâches à exigences élevées. On notera que nous employons le terme de « charge » quand il s'agit du travail mental, et le terme « exigences » quand nous nous référons aux conditions requises par une tâche ; par contre, nous n'employons pas de terme particulier pour les niveaux d'exigence de la tâche qui aboutissent à une chute de performance.

III.1. Résumé des rapports entre charge de travail et expérience

Nous avons suggéré que l'accroissement de l'expérience peut avoir plusieurs effets sur le nombre et le type de décisions qui doivent être prises pour choisir un comportement approprié. Il se peut que l'opérateur expérimenté utilise un comportement particulier de façon automatique, par habitude, parce que les autres possibilités ont été évaluées précédemment par rapport aux critères de décision, et que, les circonstances n'ayant pas changé, une décision ferait double emploi. Il a appris les propriétés du comportement du processus et de son propre comportement vis-à-vis de celui-ci, aussi peut-il « choisir » entre plusieurs possibilités de comportement sans exploration, par la connaissance préalable de résultats. Il ne lui est pas nécessaire de mettre en jeu les comportements pour découvrir s'ils sont appropriés ou non, de sorte qu'il ne perd pas son temps et son énergie à utiliser des méthodes inadéquates. Il contrôle le processus avec un taux d'erreur et une incertitude faibles ; il exerce aussi un meilleur contrôle sur la somme d'efforts qu'il fournit lui-même. Comme tous les comportements subsidiaires s'améliorent également de la même façon, toutes les propriétés de ses comportements deviennent plus efficaces.

Pour un opérateur inexpérimenté, tous les comportements sont plus complexes et incertains, et donc plus lents. Une grande partie des comportements a trait à la manière d'exécuter la tâche ; ils s'appliquent davantage aux décisions à prendre à ce sujet, telles qu'apprentissage ou exploration, qu'au traitement direct des exigences de la tâche. L'opérateur n'a pas besoin de prendre de décisions à ces niveaux, aussi a-t-il non seulement moins de travail, mais une plus forte proportion de son travail se rapporte directement à la tâche. Lorsqu'on mesurera sa performance, on trouvera, par conséquent, une plus grande « capacité », ce qui n'est possible que parce qu'une plus grande partie du travail mental effectué en un temps donné s'applique directement à la tâche.

La notion selon laquelle une tâche pratiquée depuis un certain temps nécessite moins de prise de décision et d'attention ne date pas d'hier (voir par exemple, James, 1890, chap. 4). Elle a été vérifiée expérimentalement plusieurs fois, en utilisant l'argument suivant : puisqu'une moins grande attention est nécessaire, la « tâche secondaire » entraînera moins de perturbation. Bahrck et Shelley (1958), Adams et Chambers (1962) et Diamond (1966) ont tous montré que la performance à des tâches primaires ou secondaires était meilleure lorsque les séquences de stimulus étaient plus régulières, venant ainsi appuyer l'idée que les tâches plus prévisibles sont plus faciles. Dans les études faites par Bahrck *et al.* (1954) et Trumbo *et al.* (1967) cet effet n'apparaît qu'avec la pratique. Ces deux dernières expériences faisaient intervenir un plus grand nombre de possibilités ; on peut donc supposer qu'une longue pratique est seulement nécessaire s'il est plus difficile de repérer les régularités de la tâche. Une expérience qui n'entre pas dans le schéma des précédentes est décrite par Pew (1974 *b*). Il s'agit d'une tâche de poursuite (*tracking*) continue, alors que les expériences ci-dessus utilisaient toutes l'enfoncement de touches ou la « poursuite » entre niveaux discrets. Une partie du tracé à suivre se retrouvait à chaque essai. Si la performance sur le tracé répété s'est révélée meilleure que sur le tracé changeant, la performance à une tâche secondaire n'a pas été

meilleure. On pourrait avancer l'argument qu'une pratique encore plus grande est nécessaire. Spelke *et al.* (1976) ont montré, dans une tâche différente, qu'une pratique très poussée conduit à un relâchement des limites de « capacité ». On pourrait également faire la suggestion *a posteriori* que la pratique peut améliorer la performance, alors que l'apprentissage est consolidé à un seul niveau de l'organisation de la tâche, mais qu'une pratique plus longue est nécessaire pour modifier le type d'organisation de la tâche. Par exemple, en II.5.1, on a vu que le débutant accomplit deux types de tâche jusqu'à achèvement de l'apprentissage, après quoi il n'en accomplit plus qu'une.

III.2. Tâches à exigences élevées

En II.2, nous avons vu comment un opérateur a la possibilité de choisir son comportement en considérant les exigences de la tâche, d'une part, ses propres capacités et sa bonne volonté, d'autre part. Il compare les exigences de la tâche avec ce qui peut être obtenu en utilisant les comportements disponibles, et il compare les opérations mentales et physiques que nécessitent ces comportements avec ses capacités disponibles. Nous supposons que l'opérateur s'efforce de se maintenir à un certain taux de travail mental et physique tout en contrôlant le processus pour respecter les critères de la tâche, et qu'il essaie d'adapter son comportement pour équilibrer ces deux objectifs (voir développement dans Bainbridge, 1974 *b*).

Il va de soi que des modifications dans les exigences de la tâche devraient affecter le choix du comportement. En fait, quiconque ne réagit pas différemment à de telles modifications est considéré comme irresponsable ou déprimé. Quand les exigences de la tâche augmentent, la question importante est de savoir si l'opérateur peut utiliser une méthode de travail différente susceptible de donner des performances accrues pour la même quantité de travail mental (Sperandio, 1972). S'il ne dispose d'aucune stratégie de ce genre, alors le travail mental doit augmenter et/ou les performances doivent se détériorer. Etant donné qu'un travailleur expérimenté peut accomplir une tâche donnée avec une charge de travail mental moindre qu'un débutant, il sera moins immédiatement sensible aux effets d'un accroissement des exigences de la tâche. Si cet accroissement ne peut être traité que par un changement de comportement, alors le mécanisme du choix de comportement est central dans la réaction de l'opérateur envers ces exigences. Nous allons étudier certains cas où des exigences élevées peuvent avoir un effet dislocateur sur le fonctionnement régulier des processus de prise de décision et ainsi entraîner des chutes de performance.

La plupart des arguments présentés dans la littérature sur les effets d'exigences élevées de la tâche sur la performance sont plutôt intuitivement raisonnables que totalement vérifiés (mais il en est de même pour une bonne part de la présente discussion!). Les effets de « stressseurs » externes à la tâche ont été étudiés plus complètement. On estime généralement qu'ils produisent des modifications des rapports vitesse-précision, des omissions, et un dérèglement général dans l'utilisation des séquences de la régulation temporelle et du stockage utile. D'après la notion ci-dessus, ces modifications surviennent quand il n'est pas possible de trouver une méthode de travail qui à la fois réponde aux exigences de la tâche et soit possible dans le cadre de la capacité

mentale disponible. Leplat (1974) et Hacker (ce symposium) parlent d'un déséquilibre dans le comportement lorsque l'opérateur n'a pas de solution à des exigences de la tâche.

Les exigences élevées auront un caractère de grande priorité et commanderont les choix de comportement. Par exemple, lors d'une étude sur un four d'aciérie, quand le contrôle révélait un état d'urgence, l'opérateur effectuait immédiatement une intervention sans considérer d'abord d'autres possibilités (Bainbridge, 1974 a, fig. 3) ; il revenait donc à une stratégie de *feed-back* lorsqu'il était pressé, alors qu'il employait une stratégie de prédiction à d'autres moments. La prédiction peut sembler un luxe quand il y a urgence, mais en fait une stratégie de *feed-back* est plus difficile, en partie parce que le résultat de toute vérification de l'état du processus est inattendu et donc plus difficile à corriger, et aussi parce que les décisions d'intervention doivent être prises alors sous contrainte de temps, plutôt qu'à l'avance, dans des périodes de faible charge de travail.

Le *feed-back* est la stratégie employée par un opérateur inexpérimenté, et l'on peut considérer que de nombreux aspects des chutes de performance en cas d'exigences élevées de la tâche proviennent de ce que l'opérateur se trouve dans une situation de retour partiel à l'état d'opérateur inexpérimenté. Par exemple, comme les exigences de la tâche ont une grande priorité, l'opérateur travaille dans un contexte modifié quant au facteur coût ; ne pouvant pas utiliser le comportement pertinent à la situation stable, il se retrouve face à la nécessité de prendre une « décision » à propos de son comportement. Le travail dans des conditions stables peut permettre les réactions les plus rapides, mais on perd l'adaptabilité à un environnement changeant. Le fait de prendre cette décision peut non seulement accroître la charge de travail à un moment où l'opérateur est sous pression, mais peut encore causer des problèmes parce que cette décision elle-même nécessite de la pratique si elle doit être bien prise (il serait intéressant de savoir si le changement de circonstances suscite plus ou moins de difficulté lorsqu'une tâche est effectuée « au jugé » ou lorsqu'elle est accomplie par des procédures relativement explicites et formelles). Il se peut que l'opérateur connaisse d'autres méthodes de travail qui soient appropriées mais qu'il n'a pas utilisées récemment. S'il n'en connaît pas, il doit concevoir une autre méthode ; ceci le plonge dans une situation de grande incertitude dans laquelle il lui faut explorer et expérimenter, alors qu'il ne dispose pas du temps nécessaire pour ce nouveau comportement. Une grande partie de son comportement ne sera pas directement orientée vers les exigences de la tâche et fera donc apparaître un affaiblissement sensible de la capacité d'exécution de la tâche.

Dans un comportement bien entraîné, des modifications de l'efficacité se sont produites à tous les niveaux de l'organisation du comportement, avec interrelations complexes entre niveaux, les niveaux inférieurs étant indépendants du contrôle « conscient ». On peut supposer que si l'opérateur est ramené à l'obligation de concevoir de nouvelles méthodes et de choisir un comportement, cela peut perturber les parties de son comportement qui sont organisées de façon autonome. Ces parties « inférieures » du comportement seront intégrées en ce sens qu'elles attendront certains signaux à certains moments. Si ces signaux n'arrivent pas aux moments prévus, à cause de différences dans la coordination temporelle ou dans le schéma du comportement de « niveau

supérieur », l'effet peut être rapidement destructeur sur la performance (essayer de donner à vos jambes des instructions explicites sur ce qu'il convient de faire en montant un escalier). Ceci accroîtra encore l'incertitude de l'opérateur sur les propriétés et l'adéquation de son propre comportement.

Il se peut que l'opérateur choisisse plusieurs méthodes de simplification du problème lorsqu'il n'est pas capable d'accomplir toutes les tâches nécessaires. Il pourrait essayer de continuer comme si tout était normal, découvrir que c'est impossible et ainsi omettre au hasard des fractions entières de la tâche, ou bien concentrer ses efforts sur certains aspects à grande priorité et en négliger d'autres, comme dans la vision en tunnel. Avec une compréhension plus profonde des mécanismes de choix du comportement, on pourrait être capable de prévoir quel type d'incident pourrait se produire, en supposant que chaque individu donne tout son poids à quelque type particulier de paramètre dans les décisions relatives au comportement.

L'une des implications simples et pratiques de cette analyse, si le comportement en cas de tâche à exigences élevées se trouve ramené à une forme de comportement inexpérimenté, est que l'opérateur devrait être entraîné à travailler à différents niveaux d'exigence de la tâche, afin qu'il connaisse parfaitement les diverses méthodes et les processus d'adaptation pour passer d'une méthode à une autre. Un tel entraînement se pratique naturellement dans la tâche de contrôle du trafic aérien, et il s'acquiert lors de séances spéciales en simulateur pour les pilotes de ligne et les opérateurs de réacteurs nucléaires. En fait, les pilotes de ligne et les opérateurs de réacteurs ne reçoivent pas un entraînement aux tâches à exigences élevées, mais un entraînement à l'incident. Le traitement du dysfonctionnement des machines est un problème lié aux tâches à exigences élevées. L'opérateur ne sait pas quels éléments du processus se comportent normalement, aussi ne peut-il pas utiliser ses suppositions et anticipations normales, mais doit à nouveau travailler par exploration et *feedback*, avec un grand facteur d'incertitude. L'expérience de cas d'urgence peut avoir un effet positif ou négatif sur le comportement. L'opérateur connaît les possibilités et les risques de la situation, et sa précédente expérience de succès ou d'échec affectera son évaluation subjective sur ses propres capacités et, partant, ses jugements sur la question de savoir si les comportements disponibles conviennent aux exigences de la tâche.

Cette discussion donne à penser que la chute de performance dans une tâche à exigences élevées pourrait se produire comme s'il s'agissait d'une fonction naturelle des mécanismes normaux de la prise de décision, plutôt que par un véritable processus de détérioration des capacités. Nous n'avons pas inclus ici d'étude sur les façons dont les modifications réelles des capacités fondamentales (plutôt que de celles relatives à la tâche) peuvent survenir, par exemple par des modifications de l'état physiologique. Comme son état physiologique est aussi une partie du contexte mental de sa prise de décision, on pourrait supposer que l'opérateur essaiera aussi de choisir son comportement de manière que l'intégrité de son état physiologique soit maintenu. Si dans le cas d'exigences élevées les exigences de la tâche commandent les choix de comportements, et si les critères relatifs à la tâche comme les critères personnels concernant les décisions ne peuvent être maintenus en équilibre, alors « l'équilibre mental » peut se trouver perturbé. De plus, une incapacité à produire un comportement qui satisfasse ses propres critères concernant ce qu'il

convient de faire, pourrait entraîner des états émotionnels tels que l'inquiétude ou la peur. Il y a donc plusieurs voies potentielles par lesquelles les modifications du comportement dans les cas de tâches à exigences élevées pourraient aussi entraîner des modifications de l'état physiologique.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS, J. A., CHAMBERS, R. W. (1962). — Response to simultaneous stimulation of two sense modalities — *J. exp. Psychol.*, **63**, 198-206.
- BAHRICK, H. P., NOBLE, M., FITTS, P. M. (1954). — Extra-task performance as a measure of learning a primary task — *J. exp. Psychol.*, **48**, 298-302.
- BAHRICK, H. P., SHELLY, C. (1958). — Time sharing as an index of automatization — *J. exp. Psychol.*, **56**, 288-293.
- BAINBRIDGE, L. (1971). — The influence of display type on decision-making strategy, in *Displays, Conference Publication No. 80*. Institution of Electrical Engineers, London.
- BAINBRIDGE, L. (1974 a). — Analysis of verbal protocols from a process control task, in EDWARDS, E., LEES, F. P. (edit.), *The Human Operator in Process Control*. Taylor & Francis, London.
- BAINBRIDGE, L. (1974 b). — Problems in the assessment of mental load — *Le Travail humain*, **37**, 279-302.
- BEISHON, R. J. (1969). — An analysis and simulation of an operator's behaviour in controlling continuous baking ovens, in DE BRISSON (edit.), *The Simulation of Human Behaviour*. Dunod, Paris. Reprinted in EDWARDS, E., LEES, F. P. (edit.), *The Human Operator in Process Control*. Taylor & Francis, London.
- COOKE, J. E. (1965). — *Human Decisions in the control of a slow response system*. Unpublished D. Phil. Thesis, University of Oxford.
- CROSSMAN, E. R. F. W., COOKE, J. E., BEISHON, R. J. (1964). — Visual attention and the sampling of displayed information in process control — *Human Factors in Technology Research Group, University of California at Berkeley. HFT 64-11-7*. Reprinted in EDWARDS, E., LEES, F. P. (edit.), *The Human Operator in Process Control*. Taylor & Francis, London.
- DE GROOT, A. D. (1965). — *Thought and Choice in Chess*. Mouton, The Hague.
- DIMOND, S. J. (1966). — Facilitation of performance through the use of the timing system — *J. exp. Psychol.*, **71**, 181-183.
- EDWARDS, E., LEES, F. P. (1974). — *The Human Operator in Process Control* (edit.). Taylor & Francis, London.
- FLAVELL, J. H. (1976). — *The development of metacommunication*. Paper given at the Symposium on Language and Cognition, 21st International Congress of Psychology, Paris.
- JAMES, W. (1890). — *The Principles of Psychology*. Henry Holt, New York.
- LEPLAT, J. (1974). — Analyse du travail et genèse des conduites — *Int. Rev. Appl. Psychol.*, **25**, 3-14.
- LEPLAT, J., PAILHOUS, J. (1974). — Quelques remarques sur l'origine des erreurs — *Bull. de Psychol.*, **XXVII**, 312, 729-736.
- LEWIN, K., DEMBO, J., FESTINGER, L., SEARS, P. S. (1944). — Level of aspiration, in HUNT, J. McV. (edit.), *Personality and the Behaviour Disorders*, vol. I, Ronald, New York.
- MARCH, J. G., SIMON H. A. (1958). — *Organizations*. John Wiley, New York.
- PEW, R. W. (1974 a). — Human Perceptual-Motor Performance, in KANTOWITZ, B. H. (edit.), *Human Information Processing*. Erlbaum, New York.
- PEW, R. W. (1974 b). — Levels of Analysis in Motor Control — *Brain Research*, **71**, 393-400.
- POULTON, E. C. (1957). — On prediction in skilled movements — *Psychol. Bull.*, **54**, 467-478.
- SPELKE, E., HIRST, H., NEISSER, U. (1976). — Skills of divided attention — *Cognition*, **4**, 215-230.

HUMAN DETECTION AND DIAGNOSIS OF SYSTEM FAILURES

Edited by
Jens Rasmussen
and
William B. Rouse

HUMAN DETECTION /



NATO CONFERENCE SERIES
Series III: Human Factors

MATHEMATICAL EQUATIONS OR PROCESSING ROUTINES?

Lisanne Bainbridge

Department of Psychology
University College London
London WC1E 6BT, England

INTRODUCTION

Within the context of this conference, we want to know the factors which affect human ability to detect and diagnose process failures, as a basis for console and job design. Understandably, human factors engineers want fully specified models for the human operator's behaviour. It is also understandable that these engineers should make use of modelling procedures which are available from control engineering. These techniques are attractive for two reasons. They are sophisticated and well understood. They have also been very successful at giving first-order descriptions of human compensatory tracking performance in fast control tasks such as flying. In this context they are sufficiently useful for the criticism, that they are inadequate as a psychological theory of this behaviour, to be irrelevant for many purposes. Engineers have therefore been encouraged to extend the same concepts to other types of control task. In this paper we will be considering particularly the control of complex slowly changing industrial processes, such as steel making, petrochemicals and power generation. We will find that while control engineering methods may be adequate to give a first-order description of human control behaviour in very simple tasks, they do not contain mechanisms with sufficient potential to account for all aspects of behaviour in more complex situations. I will try to discuss the types of mathematical model which appear to best fit some of the data from these tasks. I will also describe some of the other types of behaviour for which a mathematical representation seems insufficient or inappropriate.

**HUMAN
OF**

Editor
and V

Human
Failure
under
system
stress
the
effect
of
stress
and
the
process
of
the
art

Areas
which
grow
with
the
process
with
the
operator
using
system
graphs

Human
Failure
for
the
theory
analysis

In order to make these comparisons I will take some of the basic concepts in some typical engineering approaches and compare them with data from human control studies. As many engineering models distinguish between input processes and control decisions, these are discussed separately. Unfortunately, as studies of human control behaviour show that these distinctions between obtaining information, making decisions (and setting control targets) are often not clear, this way of organising the paper gives a rather distorted representation. It also entirely omits some central aspects. The paper will therefore start with a discussion of the overall nature of process control tasks, and of some of the richer aspects of behaviour for which mathematical equations do not provide the types of concept needed.

I would certainly accept that most current psychological models cannot be used effectively in solving engineering problems, and that, as they are not fully specified, they have little intrinsic value for engineers. I would like, however, to argue that the most effective response to this is not to make more sophisticated control theory models, but to put more work in developing more powerful models of different types. It must also be admitted that it is only possible at the moment to give a very superficial indication of the wealth of problems which need to be dealt with, and of the mechanisms which might be useful in more fruitful models of human process control.

THE GOALS OF PROCESS CONTROL

A simple expression of the process operator's goal would be that he should maintain the process output within tolerance around the target level. This description may be appropriate to the control of single variables, as in Veldhuyzen and Stassen's (1977) model of ship steering. In many processes, however, the operator's task is more like that of a ship's pilot deciding which direction the ship should go in, and dynamic control is a relatively minor aspect of the task. Umbers (1979b), in a study of gas grid control, found an average of 0.7 control actions per hour. Beishon (1969), interviewing a bakery oven controller, while he was doing his job, found that 11% of his skilled decision making was concerned with control and observation. These investigators both found that goal- or target-setting was a major part of the operator's activity; and that it influences task behaviour in such an integral way that it cannot be dealt with in models which are distinct from models of control decisions. In general, studies suggest that the operator is concerned with goals at several levels. He converts goals which are not fully specified into an operationalisable form. He predicts targets which are affected by varying product demand or process behaviour. He plans sequences of future behaviour, by the process and himself. Such sequences may be evaluated against multiple goals, and generation and evaluation

some of the
and compare
engineering
l decisions,
ies of human
en obtaining
targets) are
ves a rather
ome central
sion of the
f the richer
ions do not

psychological
ng problems,
have little
r, to argue
to make more
ore work in
It must also
o give a very
h need to be
eful in more

goal would be
rance around
iate to the
ssen's (1977)
e operator's
ch direction
tively minor
of gas grid
our. Beishon
he was doing
making was
ligators both
part of the
viour in such
els which are
ral, studies
s at several
fied into an
e affected by
sequences of
sequences may
nd evaluation

of these sequences may be difficult to distinguish. He may also be able to generate entirely new behaviour in unfamiliar situations. We therefore need to understand and be able to model all these types of behaviour.

Future Targets

Frequently the general goals specified by management are inadequate as guides for controlling the plant, and the operator has to convert them to sub-goals. For example, Beishon (1969) found that the time/temperature combinations at which cakes could be baked were not fully specified in the job description, and had been learned by the operator. Such knowledge could be modelled, at a first-order level, by table-look-up, and the learning by parameter trimming.

Many process tasks are more complex than this, as the control target varies on-line as a function of product demand or stages in production. In some industries management takes the decisions at this level. In others, predicting targets may be part of the operator's task. Umbers (1979b) studied gas grid controllers, who ensure that sufficient gas is available to meet demand over the day. It is inefficient to control the gas supply by feedback from demand levels, as 2-4 hours notice is needed to increase production using cheap methods, and the pressure of stored gas provides a "free" force for distribution, so a major part of the task is to predict how much gas will be used that day and have it available beforehand. Umbers concluded that observational techniques provided inadequate information on the controller's methods, so he recorded verbal protocols, asking the controllers to "think aloud" while doing the task. Verbal protocols are often analyzed by producing flow diagrams which would generate the same sequence of activity as in the verbal report. Therefore, to accept many of the following examples in which verbal reports are used as data one has to accept that an operator can give useful and valid reports (see Bainbridge, 1979), and that some of the operator's behaviour can be described validly in terms of program-like routines. Umbers found that 28% of the verbal reports were concerned with predictions of gas demand. A computer makes a demand prediction based on the 4 previous same days of the week. The operator can revise and override this estimate, by finding records of a previous day which better match the present day than the ones used by the computer, allowing for the weather, national holidays, etc. Such judgements and comparisons would be most easily modelled by conditional statements. The knowledge of factors influencing demand can presumably be modelled in the same way as other types of knowledge of dynamic relations. This is discussed later.

**HUMAN
AND
OF**

Edited
The

and W
University

Human
Failure
understand
system is
several
this pro-
cedure of
display
and data
provide a
the art.

Area of
study in
growing
with the
progress
with the
applied to
operator
copying in
system in
operation

Human
Failure
for many
and error
theory a
analysis.

The future target may be a function not only of product demand but also of process behaviour. The writer (Bainbridge, 1974) has studied allocation of power to 5 electric-arc steel-making furnaces, with a limit on the amount of power which could be used in a ½ hr. period. Steel-making furnaces go through a sequence of stages which require different amounts of power. Therefore, for example, if too much power is being used now, but shortly one of the furnaces will change to a stage using less power, then this may compensate for the present over-usage, and there is no need for action by the operator. Goal setting and control strategy are here combined. Protocols from these controllers show that they make a list of future furnace changes, and keep in mind particularly those which will happen in the current ½ hr. Generating the time of the next stage change in each furnace is done by arithmetic, using displayed and reference data. Ordering these events in time requires a simple sort procedure. Simple arithmetic could be used to model the process of checking whether a future event will compensate for a present power usage which is unacceptable by average criteria. However this would not be a good model for all controllers. The protocols suggest that some operators assess the effect of an event in relative rather than numerical terms. Also an arithmetic account does not model the operator's understanding of why this anticipation is a good strategy.

Another important aspect of this behaviour is that the operator makes the list of future events during a general review of the process state made when the control state is acceptable. The list is then immediately available for reference when power usage is unacceptable. The process of building up and referring to this background information (or "mental picture") about the present process state plays an important part in control behaviour. These examples suggest that control activity is generally oriented to the future. The operator can only make such predictions if he has adequate knowledge of the process dynamics. See also the discussions of sampling, working storage and control action choice.

Planning Future Sequences of Behaviour

Allowing for the future can be still more complex. In Beishon's (1969) bakery study, much of the operator's thinking was concerned with planning future activity. For example, he had to choose the best sequence in which to bake the waiting cakes. To minimise time and power usage, the cakes should be baked in a sequence of increasing or decreasing temperatures. Again there is no clear distinction between goal-setting and control. It would seem that a simple sort routine for arranging cakes in order of required conditions would give a simple description of what the operator does, though not necessarily of how he does it. The

actual situation is more complex however, as he is controlling 3 ovens, so assignment of cakes to each will depend on present conditions and capacity, requiring a multidimensional evaluation.

As well as planning the best sequence of behaviour for the process, the operator also has to plan his own sequence of actions. In simple tasks with one display and one control, the operator's control actions are all on the same variable. The sequence of actions to obtain a step change: "turn control up to start controlled variable moving towards target, turn it down to stop the movement at the target, turn it to a level which will maintain output on target" has been observed in many tasks, e.g., Crossman and Cooke (1962). Passage from one type of activity to another can be modelled by dividing the phase-plane into different areas, as by Veldhuyzen and Stassen (1977). The operator however also has to time his display and product sampling. Interleaving the potential different types of activity requires a complex multidimensional evaluation. This will be affected by personal as well as production goals; for example, the operator may do one activity after another because they are close together on the process rather than because this is the optimum timing of the second action from the point of view of process operation. Beishon comments that planning gives rise to activities, the reasons for which are not obvious from the current context and are therefore not identifiable unless one has been discussing with the operator what he is doing and thinking about.

All these types of planning involve the operation of multiple goals. Some preliminary points about this will be made in the next sections.

Problem Solving

The previous examples show that the operator is evaluating possible behaviours against several goals which operate simultaneously. There are parallel goals, e.g., baking cakes, using minimum time and fuel, and an acceptable level of operator effort. Some of these may be implemented by sub-goals, e.g., cakes are baked with minimum time and fuel if they are put in the oven which is nearest to the required temperature. Thus within one goal there may be multiple levels of goal organisation which cannot necessarily be described as a hierarchy (cp. Bainbridge, 1975). Therefore, to understand their effects on behaviour, we need to understand the nature of different types of goal structure, and this is something about which we know very little.

This complex structure of goals is involved in the generation of new types of behaviour in unfamiliar situations. This occurs both in problem solving, in learning (see "Acquisition of the Internal Model"), and in on-line choice between known

**HUMAN
AND
OF**

Edited
R. A. BAINBRIDGE

and W
L. BAINBRIDGE

Human
Failure
under
system
control
of the
operator
of the
system
and the
operator
of the
system

Areas of
study in
relation
with the
operator
of the
system
and the
operator
of the
system

Human
Failure
in
control
of the
system
and the
operator
of the
system

behaviours in a specific known situation (see the next section). Problem solving involves generating new behaviours which will meet the task goals. To be brief it is easiest to give a non-process-control example. If the goal is to get a nail in, a simple response to this goal is to find a hammer and hit the nail in. However, we do not only have simple and direct goal-response links. If we cannot find a hammer then we look for another object which can be used with the same effect. To be able to do this, each goal must have associated with it a specification of the characteristics required of a "response" which will implement it, and instructions about how to check for them. Each response must have associated with it information about the type of results it can provide. Winograd (1972) has described an interesting attempt at a program which works in this way. The above points therefore suggest that for the process operator to generate new behaviours, his process knowledge must be specified in a goal-oriented way, which can also be searched in a goal-directed way to find new sequences of process behaviour which will lead to the control goals. A model of such behaviour would be necessary for understanding how an operator reacts to system failure.

On-Line Behaviour

It is perhaps easier to model how multiple goals affect the choice between already available strategies from moment to moment, to suit particular on-line conditions. The writer, (Bainbridge, 1974), in the power allocation study, found that the operator had one routine for finding the target power usage for the rest of the 1/2 hr., and other routines for choosing the best action to make. These routines choose which of the 5 furnaces to reduce the power supply to, total level of power usage being the primary control goal. The first routine finds the furnace which started melting last so least fuel will be wasted by allowing it to cool. The second routine finds which melting furnace is least loaded with metal, for the same reasons, and so on. Each routine therefore considers actions which are increasingly refined from the point of view of meeting the secondary control goals of maximising steel throughput and quality. Suppose the operator judges that the level of power usage indicates an action will be needed soon. He uses the first action choice routine, which indicates a good, though not necessarily the best, furnace to be changed. He then samples the control state again. If action is urgent he can make the action chosen on a simple basis, if it is less urgent he uses the next routine, which refines the action choice, and so on.

There are two ways, in this example, in which the urgency of the control state affects the choice of next best behaviour. When action is urgent, the primary goal of power control overrides the secondary goals and action is chosen on the simplest basis. In addition, he does not always return to check the control state at

ext section).
ich will meet
to give a
a nail in, a
hit the nail
goal-response
another object
e to do this,
ation of the
implement it,
response must
of results it
esting attempt
nts therefore
ew behaviours,
-oriented way,
y to find new
o the control
necessary for
ce.

als affect the
ent to moment,
(Bainbridge,
e operator had
he rest of the
ction to make.
duce the power
primary control
tarted melting
to cool. The
st loaded with
ine therefore
m the point of
ximising steel
that the level
soon. He uses
a good, though
e then samples
can make the
nt he uses the
o on.

the urgency of
behaviour. When
overrides the
est basis. In
ontrol state at

the end of each of the control choice routines. One might model this by returning, at the end of each routine, to some "executive" which decides what would be the most effective way for the operator to spend the next few moments. In the unacceptable-power-usage context there is a choice between refining the action choice, sampling the power usage, or making a control action, and the choice between these is a function of the urgency of the control state at the last sample. Utility "calculations" are presumably used in these "executive" decisions, but play only a partial role within a more complex structure.

Umbers' (1979b) study of gas-grid control gives another example. He found 40% of the verbal reports were taken up with decisions about whether action was necessary, compared with 3.5% concerned with selecting a suitable action. Again the controller's task was to find a balance between the various costs of changing the levels of gas generation, considering various goals which are secondary to the main one of meeting gas demand. The verbal report analysis suggested that the different costs were combined together in some categorising process which involves a subjective scale which may differ between operators.

Evaluation

Frequently the operator's choice between alternatives is modelled by an Expected Value calculation as in decision theory. The example from Umbers raises the question whether the operator's decisions are in this specific, numerical form. The EV calculation does require the assumptions that numerical utilities are known to, and used by the operator. Operators however do not necessarily have full cost information. Paternotte (1978) found, from interviews with operators and management, that operators controlling 8 distillation columns had very little information about costs. This was deliberate policy. However, if one assumes that the operator must use some costs in making decisions, then if he is not given information about costs, he must assign his own, which may lead to idiosyncratic actions. Hopefully, one could give correct cost information to an operator without adding to his difficulties.

Verbal report evidence, as in the example from Umbers op cit, suggests that the operator usually works by making relative comparisons, e.g., a is better than b, where a and b are categorical values. This implies that decisions might be modelled by a mechanism which can operate on an ordinal scale, rather than the ratio scaler required by the calculation of EV functions. This "linguistic" handling of utilities might be better represented by "fuzzy" methods, cp. preliminary discussion by Efstathiou and Rajkovic (1979).

generation of stages. When the problem that arises using an operator therefore alternatives to evaluation, so evaluation.

of the main process operator's the future, and by which the main studies parts of the flow diagrams. accuracy in the difficult to er programming therefore not description of

sion has by no real situation. may also act on some fun, or to need to have a model which is be evident that control activity

control tasks have tions, with the lag before he a the interval pling several usually assumed, cussion in the control target comparison with isons are often n, particularly have important, these aspects

have not received much accurate analysis, although there are many sensible design recommendations, so the discussion here will concentrate on concepts which do appear in several models, and on comparing these concepts with actual operator behaviour, to suggest aspects which need to be included in a fuller understanding of how the process operator takes in information.

Human Response Lag

The lag (reaction time) between taking in information and reaching a decision has an important influence on the quality of human control of quickly reacting "processes" such as aircraft, but becomes of progressively less direct importance when the process response lags are much longer than the human lags. However there are some points which need to be kept in mind.

Kok and van Wijk (1978, p. 6) state that "the human information processing time (can be modelled) by a single pure time delay which is equal for all observed outputs independent of its modality (visual, auditory, etc.)". This assumption may be an acceptable approximation in models of fast tracking tasks, in which one well-designed display is used and neuromuscular control is the major limiting factor in performance. It can be positively misleading in slow process control for several related reasons. Decision making time is usually much longer than the 150-200 msec assumed in fast tracking models, as more complex distinctions are involved. As we have already seen, coming to a decision may involve lengthy information considering procedures for which a simple stimulus-response representation could be inappropriate. The variability in reaction time as a function of display and task is not a small fraction of the average RT, but reaction times in some situations can be several times longer than in others (e.g., Teicher and Krebs, 1974). If one does not consider all the factors which can affect reaction time, such a quality of display, compatibility, and console layout, one can easily forget the major influence which interface design can have on process control performance.

Accuracy of Display Readings

Many modellers assume that the human operator is an inaccurate reader of displays, for example Kok and Wijk (1978, p. 6) say that "the human uncertainties due to scanning or sampling (can be modelled) by a normal white observation noise on each of the observed variables". Indeed the human sensory threshold can be considered as adding "noise" to the reading obtained (as in any other sensing device) and identifying a stimulus does involve a decision. The threshold is not constant but is a function of location of stimulus, e.g., on retina or skin, and of display design, as mentioned by Baron and Kleinman (1969). It is also a

HUMAN OF

adaptation level, and is affected by the utilities of misses, false alarms, etc. However, it seems that introducing noise into models of the human operator has had the main effect that a Kalman filter is then needed to remove the noise (whose characteristics have been carefully chosen to be those a Kalman filter can deal with) as the model control equations acting on the sensory measures cannot handle stochastic inputs. One can argue both that the human operator may use "inaccurate" categorised display readings for good reason, and also that sometimes when noise has to be added into control engineering models of the human operator to make them match his control behaviour, this may be due to limitations in the model rather than to limitations in the operator. One might also mention that Paternotte's (1978) operators complained that their control task was difficult because the instruments and controls were not accurate. (See the section on Reliability of Input Measures).

When the human process operator makes categorised display readings these will be inaccurate by engineering standards, but the display may be read in this way because the reading is being used, not for feeding into an action-size calculation, but as a determinant of decision making for which a categorised value is more appropriate. In the writer's steel-making study (Bainbridge, 1971) the control state (power usage level) was evaluated into three types: alright, above/below, increase/decrease action needed. These three categories have different implications for the next best behaviour as discussed earlier. To describe this simply as a noisy display reading would be to misrepresent what the operator is doing with the information.

In a different way, "noise" may be introduced into modelling to account for a mismatch between model and human performance, i.e., the "remnant". In some cases the need for this might be taken as a measure of the inadequacy of the model, with a larger remnant indicating that less of the human operator's performance has been accounted for by the model. It may of course be necessary to include noise in a human operator model, particularly when his knowledge of the process is only adequate to predict its behaviour to within statistical or categorised limits. I consider that noise should be used in models with great care, as it has a more general danger. Many models of the human operator represent him as a rather simple control device with noise. While the originators of such models may hold that such a model has only the status of a first-order description of the human behaviour, it is very easy to fall into thinking that such a model is a valid representation of actual human control mechanisms. One can then easily infer that the human operator is a rather poor quality simple control device best replaced by something which has been properly designed. As this type of model does not contain any components by which one

could begin to represent the things which the human operator is particularly good at, such as pattern recognition, planning and problem solving, it could be easy to forget, when using such models, that human operators do have this sort of potential.

Intersample Interval and Process Knowledge

Most operator models are concerned with the task of sampling at a rate such that the behaviour of the variable being sampled can be reconstructed, though it is now accepted that there are several other reasons why the operator might sample, such as failure detection, which would lead to different optimum strategies (see e.g., Kleinman and Curry, 1977). We need to discuss what does determine the human operator's intersample intervals. We can also ask whether this type of notion is sufficient to account for all human sampling behaviour, particularly in multi-variable process control tasks and how much the operator can remember about a complex process state. (See the section on Multi-Variable Sampling).

The simplest sampling decision is whether to sample or not. Sheridan (1976) describes a model of supervisory control in which a sample measure gives an estimate of the system state, this indicates an appropriate action which has an expected value. The model selects the measure (including not sampling) which maximises this expected value. The Expected Value calculation requires knowledge of the distribution of process states likely to occur, and of the precision of the various measures available. While it is unlikely that assessments of the optimum time to sample could be made without these types of knowledge, it would be optimistic to assume that they are perfect. (Knowledge about measurement precision will be discussed in the next section).

We can note that an input track to be followed in tracking tasks and a process output to be controlled, are equivalent in the sense that both are behaviour of the external world over time, about which information is needed as a basis for action choice. Presumably one can therefore use related models for knowledge which give the ability to predict a future track and knowledge which gives the ability to predict rather than sample future process behaviour. However, on the whole, different types of models have been used to represent knowledge in these two tasks. When following an input track (without preview) it is usually assumed that the human operator's sampling follows sampling theory, or its later developments, i.e., that he knows the statistical properties of the track. (Preview allows the human operator to use more complex types of input processing such as pattern recognition, e.g., Sheridan, 1966). In sampling process outputs, the signals are more redundant when the operator also has knowledge about the process dynamics and his own behaviour. Baron

are controlling trends or step changes, then the operator needs to know the trajectory of target performance against which to compare actual behaviour. We can ask how the human operator knows this trajectory, and whether he needs to control the process himself in order to know it. Brigham and Laios (1975) found that operators did not learn how to control a process by watching automatics do the task.

Failure detection requires that the operator's sampling should be a function of failure probabilities, rather than the probabilities of normal events. The operator should therefore sample displays with low signal probabilities. It is well known (e.g., Macworth, 1970) that human beings cannot attend effectively in directions in which nothing is happening, for periods longer than $\frac{1}{2}$ hr. This implies that monitoring automated control is like other watch-keeping situations, and requires rapidly rotating shifts for optimal behaviour.

The discussion so far has implied acceptance of the notion that decisions about when to sample are distinct from other types of task decision. The use of the same process knowledge in action choice and behaviour prediction would suggest that these two decisions may be closely interrelated. Actual studies of process behaviour suggest that sampling decisions may also be more complex, and may be affected by different types of mechanisms. As related earlier, the writer's study (Bainbridge, 1974) indicated that deciding to sample was part of a more general "executive" decision about the operator's best next behaviour. The operator "alternated" between a routine concerned with sampling the control state and ones for increasing refinement of action choice. The sampling model that this is most like is Carbonell's (1966) queueing model, but this is more complex since all the operator's activities, not just his sampling, are "queueing" for consideration. The effect of such a mechanism is that the time between samples is determined by the length of the other routines. However the sampling interval is also a function of control state urgency, as this affects how many other routines are allowed to intervene before the operator returns to checking the control state. This will be the case whenever the operator has to choose between many possible activities and sampling is just one component.

Reliability of Input Measures

We can ask whether the operator's knowledge of the reliability of the measures available to him is independent of the knowledge he uses in predicting future process behaviour. If the operator acquires his knowledge of the process by learning about correlations and conditional probabilities in its behaviour, then there is no way in which he could distinguish noise in the instrument measures from noise in the process behaviour, unless

independent evidence is available about one or the other. Noticing unreliability in the instruments is not different from noticing unusual behaviour in the process as a whole. Both can only be done if independent evidence, or a model in some general sense of knowledge of what should happen, is available for comparison with what is actually happening. An effective model of the process is necessary before the operator can diagnose that one part of the process is not behaving as it should do given the readings of other related factors. Sheridan (1976) contrasts his model of human supervisory control, in which sensory measures and control parameters are trimmed and the process model left constant, with a "conventional Kalman-Bucy estimator control system" in which the process model is trimmed and the sensory measures are left constant. It may be more realistic to assume that knowledge of these two aspects develops together.

With both the instruments and the process, given sufficient experience, the operator should be able to learn about this unreliability. This knowledge too would presumably be in the form of statistical properties or determinacies (e.g., levels of uncertainty about process behaviour, and knowledge of the types of things which can go wrong) which could be incorporated with other aspects of the operator's internal model of the process. Normally such knowledge is effective and useful. There are at least two ways however in which it can be misled. Once an instrument has been identified as unreliable the operator may diagnose peculiar changes on it as due to instrument failure rather than as something wrong with the process, and so fail to diagnose a process failure. This of course does not indicate that the operator is no good at assessing likelihoods, but underlines the importance of instrument maintenance. On the other hand, judgements that the process is behaving correctly may change relatively quickly given contrary evidence, which can be a problem if this contrary evidence is unreliable! Bartlett (1943) found that fatigued pilots blame system malfunction when things go wrong. Bartlett inferred that the tired pilot was not implementing the size and timing of actions that he should have done, though he thought that he was. Consequently the aircraft behaved in an unexpected way, and the pilot attributed this to failure in the aircraft rather than to himself. This again would support the notion that it is difficult for the operator to distinguish different parts of the process behaviour without independent evidence.

Multi-Variable Sampling and Working Storage

The usual approach to modelling human sampling of multi-variable processes is to describe this behaviour using developments of sampling theory. Senders (1964), studying sampling of

er. Noticing
rom noticing
only be done
al sense of
parison with
e process is
part of the
readings of
is model of
and control
tant, with a
in which the
es are left
knowledge of

en sufficient
about this
e in the form
levels of
the types of
ed with other
ess. Normally
at least two
strument has
ose peculiar
her than as
o diagnose a
te that the
derlines the
hand, judge-
ge relatively
blem if this
found that
gs go wrong.
ementing the
e, though he
d in an unex-
ilure in the
support the
o distinguish
independent

ng of multi-
sing develop-
g sampling of

randomly varying displays, found that attention was allocated according to the probability of an event on a display, although Hamilton (1969) has found that this occurs only when the signal rates are relatively high. One can suggest that statistical or deterministic knowledge of dependencies between process variables would increase the redundancy of signals and so reduce the sampling rate necessary. This is still to argue within the same framework of notions about sampling, however, while the writer's (Bainbridge, 1974) study suggests that something rather different may be going on. In the power control task the operator sampled many variables which were not relevant to the primary goal of controlling power usage but were relevant to the choice of an action which would best meet secondary control goals. These secondary variables were, in this task at least, not sampled at a rate such that the pattern of changes in their levels could be reconstructed. In fact such a notion would be inappropriate here as changes in these variables were step-changes occurring at fairly predictable times. Also there was a much larger number of variables than could be remembered perfectly between samples (though the form in which some variables are remembered is an important part of efficient decision making, see below).

It seems that these secondary variables are sampled in two contexts. Their levels are checked during the action choice routines, so sampling of these inputs is not independent of control choice. They are also sampled during the general process reviewing which the operator does when he is not under action pressure (as discussed earlier under Future Targets). This is one example of the general checking which operators have been seen to do during quiet periods in many studies. The writer's analysis suggests that the operators are not simply or only checking control loops which they do not normally have time to get round to. The items about the process which are remembered after making this review, are not, on the whole, the variable values as originally sampled (see Bainbridge 1974, 1975). The sampled values may be stored in a pattern different from the one in which they are displayed which is more convenient for future reference, e.g., furnace stages are displayed by furnace, but are remembered as lists of furnaces in the same stage. The more important items remembered are the results of previous thinking, for example the time of the next power demand change, and the best action to make then. Here the operator is not storing raw data about the process state, and the present "process state" as seen by the operator is not only its behaviour at this particular moment but also includes its and his potential behaviour. This suggests that the operator is building up a background "mental picture" of the process state which will enable him, when he does need to make an action, to make a wise decision within the overall context of immediately accessible and relevantly organised information about total plant

behaviour, rather than simply in response to one variable which has been found to be out of tolerance. The on-line development of this background memory, and its operation in decision making, have strong implications for manual take-over from automated systems. Modelling the development and operation of this memory requires devices which are not available in most programming languages but which could be mimicked by them.

Summary

The previous section concentrated on important aspects of complex manual process control behaviour which are missing in simple models. In this section we have again argued that simple representations of the human operator's information processing limits give a misleading impression of his potential contribution to control tasks. The need for an operator to sample may depend on his statistical or deterministic knowledge of the process, and knowledge about process behaviour may be difficult to distinguish from behaviour of the instruments or his own muscle dynamics. In more complex tasks the operator may not sample at predetermined times or intervals, but at the end of a sequence of other activities, when sampling is the next behaviour with the highest expected value. He may also review the task variables in a way which is structured by the task decisions rather than the process dynamics, to build up a working store of the whole state of the process for use in later decision making. Such analyses again support the need for information processing representations of at least some aspects of manual control behaviour, and suggest that much further research is needed to understand the nature of the operator's temporary "mental picture" of a particular process state and long-term "mental model" of the overall process dynamics, and their relation to his sampling behaviour. As these are both aspects of the operator's knowledge, his sampling may vary with experience. This is another topic about which we know very little, though Umbers (1976, p. 224) found that trainees sampled and then decided what to do, while experienced operators sampled with a purpose.

CONTROL ACTION CHOICE

Many engineering models of control action choice are concerned with the size and timing of actions. However, many of the examples given here have already implied that action choice is often more complex than simply aligning control change to error. For example, in Umbers' (1979b) task, the multiple goals to be met are being considered within a decision about whether an action is necessary. This section will be primarily concerned with the operator's knowledge of process dynamics. Many engineering models of control of single variables assume that the controller has perfect knowledge of the process behaviour, and is an ideal

variable which development of on making, have omated systems. memory requires g languages but

feedback controller. It might be more realistic to say that he exercises great ingenuity in controlling given the information at his disposal. In models which assume that the operator has perfect knowledge, this knowledge is used to predict the effects of the actions available, as a basis for choosing the best. We can ask whether these assumptions, which will be discussed separately in the next sections, are wrong in detail, or wrong in kind as a way of accounting for all types of manual process control behaviour. Within the discussion of the operator's knowledge we will consider what form it may take, and what may affect its acquisition.

The Form of the Operator's Process Knowledge

Kok and van Wijk (1978, p. 6) start their operator modelling from several assumptions, including: "The human operator has a perfect understanding of the system to be controlled, the statistics of the system disturbances, the interrelation between the observed output and the system state (the display parameters), the task to be performed, and his own inherent limitations" This assumption greatly simplifies the task of modelling, as one can include the known process dynamics in the model without asking any questions about the form in which they should be represented (and avoiding the interesting point that operators are able to control processes for which the dynamics cannot be fully specified). Of course, not all engineering models of the process controller do assume that he has perfect knowledge; some interesting examples are the fuzzy-set controllers e.g., Mamdani and Assilian (1975). However, as several models do make this assumption we need to discuss the extent to which this is a valid notion, and the distortions of understanding which it might lead to. In many cases it is essential to be able to represent the operator's non-perfect knowledge as a basis for valid predictions of his behaviour. Detailed evidence on control choice suggests that it is possible to control without full knowledge of process dynamics, that correct open-loop actions can be made by experienced operators with only a very primitive type of process knowledge, and that process knowledge may sometimes differ in form from a simple description of input/output relations.

Control behaviour in several studies suggests that a very primitive level of knowledge is sufficient for control. Beishon (1967) and Paternotte (1978) both found that operators controlled by moving the process output in the required direction in small steps. Both investigators suggest that this occurs because the operator has poor knowledge of the process dynamics. This method of control, which is possible but not efficient, requires knowledge only of the direction and (approximate) gain of control movement, and of the time to wait before checking for an action's effect. Paternotte's operators were controlling 8 distillation columns. In interviews the operators said that it was impossible,

with the existing controllers, to make actions as accurately as desired, that accurate control was useless because of inaccurate instrument readings, that the precise effects of control actions on quality values were unknown, and that lack of information concerning quality forced careful strategies. Evidently these operators are trying to control within a high level of uncertainty about the process behaviour measures given by the instrumentation. One may infer that inefficient control occurs because the nature of the console design, process or task makes it difficult to acquire the higher levels of knowledge about process behaviour which are necessary for more sophisticated control strategies.

When the operator does predict process behaviour this may also, in some tasks, be a simple statement about direction of change rather than a numerical specification of what will happen. In Cooke's (1965) study only 10-15% of statements about the present state were in relative rather than numerical form, but predictions were not numerical. In protocols collected from operators starting up turbines for electric power generation (Rasmussen and Goodstein, personal communication) the predictions were mainly simple, e.g., "it'll soon be up". However, Umbers (1976) found that predictions were numerical. It is rash to generalise to the reasons for this difference from so few examples, but one might point out that the operators making trend predictions were working from analogue displays and predicting the process behaviour, while Umbers' operators were working with digital information and predicting control targets.

Studies of experienced operators who do exert efficient control (e.g., Crossman and Cooke, 1962; Cooke, 1965) suggest that they may choose their actions without considering alternatives, by a process which is not available to verbal description. Acquisition of knowledge about actions appropriate to a given control context does not require predictions from a perfect internal model, but can be acquired from experience of correlations between action and effect. It might be misleading to assume that this knowledge is in the form of a very simple input-output look-up table however. Crossman and Cooke op cit found, by measuring correlations between control actions and various dimensions of control state, that it was only valid to describe an inexperienced controller as working by feedback since the correlations decreased with practice. From other data they concluded that the experienced operator used mainly open-loop control. This correlational learning, which enables the experienced operator to control without trial-and-error, gives a primitive form of process knowledge, without a separate specification of the nature of and reasons for process dynamics which can be used and discussed independently of doing the task.

HUMAN OF THE...
 and I...
 Human...
 Failure...
 under...
 system...
 errors...
 the...
 of...
 and...
 growth...
 the...
 Age...
 study...
 growth...
 with...
 rapid...
 with...
 control...
 making...
 system...
 control...
 Human...
 failure...
 and...
 theory...
 analysis...

accurately as
inaccurate
control actions
information
ently these
uncertainty
umentation.
the nature
ifficult to
s behaviour
ategies.

ur this may
irection of
will happen.
about the
l form, but
lected from
generation
predictions
ver, Umbers
is rash to
rom so few
making trend
redicting the
orking with

t efficient
suggest that
rnatives, by
description.
to a given
a perfect
e of corre-
sleading to
very simple
oke op cit
actions and
ly valid to
edback since
r data they
y open-loop
the experi-
r, gives a
ate specifi-
cs which can

These types of example suggest that the operator acquires these simple forms of knowledge by parameter trimming, though this may not be represented in the operator in specific numerical terms. However, analyses such as Cooke's (1965) suggest that such parameter trimming can be only a component of the learning, rather than the whole or even a major determinant of its development. Cooke's verbal protocols, and other data collected from university students controlling a simple one-dimensional process, the temperature of a water bath, suggest that control strategies are also based on hypotheses about how the process works. Some relatively simple propositions about its behaviour are combined together to make predictions. An alternative way of expressing this would be to suggest that the operator must start with some hypotheses about the "equations" which it is appropriate to trim, for example realising that it is necessary to take lag into account, e.g., (Cooke op cit, p. 365):

"I think I'll take it off a bit when it gets up to about 75 because I don't want it to overshoot the mark (85) and I imagine it will still have some effect on the water inside the tube some time after the heating has stopped."

Some of the other propositions which Cooke's students mentioned were that heating was faster than cooling, sampling continuously was not necessary, and various control strategies were available. The students mentioned these points as they realised them from their experience of trying to control the process. (It was possible for a student to mention one of these points but for it not to lead to a revision of his control strategy, and vice versa). Such propositions are not automatically assumed by a beginner operator, but are acquired by training and experience. Development of a sufficient set of these propositions is necessary for adequate control. Some people may not be able to acquire such propositions from unaided experience, or may not be able to implement the more complex control which they imply. For example Crossman and Cooke (1962) found that the control performance of low intelligence people trying the water-bath task showed that they understood the notion of proportional control but were not taking lag into account.

Such analyses suggest that human learning of process behaviour does not start with a complete equation of the appropriate order, in which the parameters are then trimmed by learning, but that learning also involves acquiring the appropriate components of the "equations" before they can be trimmed. At a more complex level of modelling one would also have to account for the way in which increasingly sophisticated knowledge of process dynamics leads to the generation of new (to the operator) and more effective control strategies. (See also sections on Problem Solving and Predicting Action Effects). One assumes that such

"propositional" knowledge of the process is at a "higher level" than the simple correlational learning described above, precisely because it may have the potential to be used for working out what to do in unfamiliar situations, which would not be possible given knowledge only of an "if this, do that" form.

Most of the above points about the nature of the operator's internal model have been inferred from his task performance, and sometimes from his verbal reports. The problems of studying the form of this model directly are very large. Presumably it is only studiable by the classic technique of making models for the operator's internal processes and testing their performance against his. An interesting example of this is given by Jagacinski and Miller (1978), who consider parameter estimation, to fit a model to behaviour in the usual tracking task, is too multi-dimensional to be successful, so they use a simpler step-change task. They fit an equation to the operator's performance, but admit that they have no information about how the operator has actually represented the system dynamics internally. This is probably an ultimate limit to any modelling of mental processes. However one should still be able to do useful work by testing, via models, a richer range of ideas about the nature of the operator's internal processes.

Acquisition of the Internal Model

The last section suggested that the operator's process knowledge can be at different levels of sophistication. If his potential for control is a function of knowledge then the quality of control is affected by anything which affects this knowledge. Studies suggest that the main influences, which all interact in their effect, are interface design, experience or training (see Crossman and Cooke, 1962), and the more general working conditions. Some aspects of these will be mentioned briefly.

The interface, and the operator's interactions with it, can affect the extent to which he can notice correlations between variables and learn the properties of their behaviour over time. One example comes from a study by Wickens and Kessel (1979). They assume that the effectiveness of a previously learned internal model can be measured by the speed and accuracy of detecting that system dynamics have changed. They find that this detecting is done better by people who have controlled manually than by those who have learned about the process by monitoring automatic controllers. The inference is that direct interaction with the process in manual control allows better learning of process dynamics. (This has strong implications about manual take-over from automated systems). If one accepts that primitive knowledge of process dynamics is mainly in the form of knowledge about directions and size of changes, then this emphasises the

a "higher level" above, precisely working out what is possible given

of the operator's performance, and of studying the models. Probably it is only models for the operator's performance given by Jagacinski's model, to fit a too multi-dimensional step-change task. We admit that the operator has actually learned is probably an illusion. However one can argue, via models, that the operator's internal

operator's process model. If his model then the quality of this knowledge. All these interact in the operator's training (see general working model) briefly.

relations with it, can be seen in the relations between behaviour over time. (see also, for example, Sessel (1979)). They have learned internal models of detecting that the operator is detecting is more difficult than by those who are working automatically. The interaction with the learning of process models and manual take-over models. Primitive knowledge about the operator's knowledge about the process emphasises the

importance of compatibility between directions of change in displays, controls and process. Task load, the amount of work to be done, can affect moment to moment use of strategies of greater or less complexity (see earlier). For example Paternotte and Verhagen (1979), studied control of a simulated distillation column run at several speeds. The operators commented that they changed from feedforward to feedback control at higher task speeds. Task load may also affect opportunities for longer-term learning about process behaviour. For example Paternotte (1978), in his study of operators controlling 8 distillation columns argued that the operators used a "small changes with feedback" strategy because they had to divide their attention, so it was easiest to use a simple strategy with standard actions. One could also argue that 8 columns is above the number of processes which an operator could keep track of separately. He would therefore not be able to learn the individual characteristics of the 8 columns, which were not the same, so he would not have the knowledge from which he could generate control choices specific to particular columns.

Another more general aspect of working conditions would be the division of decision-making responsibility between operators, foremen and management, or between operators in a team, which would affect a particular operator's opportunities to experience parts of the process dynamics.

Comparing Alternative Actions

Control models often assume that the operator's process knowledge is used to predict the effects of alternative actions, as a basis for choosing between them. This is an attractive idea, but the actual data on manual control suggest as usual that the human operator works in ways which are sometimes simpler and sometimes more complex than this. We can discuss the two aspects separately: does the operator compare alternative actions? and does he predict the effect of actions in choosing his behaviour? Observational data on manual control can only show what the operator finally decided to do, not what other possibilities he considered while making the decision. Some information on this is available from verbal reports, although it should be remembered that there are occasions when several possibilities slip through one's mind much too quickly to be reported on. With this proviso on interpreting verbal protocols, when one looks for evidence of comparing actions one finds that this happens in two contexts: when comparing the effectiveness of past actions, and when predicting possible sequences of action in complex tasks with many degrees of freedom.

Past exemplars are used as patterns for effective behaviour now (see the discussion of Umbers', 1979b, gas-grid controllers),

or a previous lack of success is used to suggest the way to revise behaviour to try this time, e.g., (Cooke, 1965):

"It seems that this time I got up to the required range rather quickly but at the expense of the fine control keeping it there. It first of all went up too far, then it went below as in the first trial but nearly so bad. The second trial I seemed to take more time getting up there but once I got there I stayed there better than this time at any rate".

A complete model for this type of behaviour would need to contain a memory which could retain "episodes" rather than simply numbers, plus comparison processes which could also suggest new strategies to try. Again this example suggests that some operators revise their control strategy by more complex cognitive processes than would be represented by "parameter trimming".

There are two examples of situations in which experienced operators do make predictions about alternative behaviours. Umbers' (1976) operators predicted the ways in which gas demand might develop, and therefore the need for actions later in the shift e.g., (p. 326):

"We'll be looking at it hourly and then we'll decide later whether it's necessary to increase during this shift or whether to make provision for it between 6 and 8 o'clock this morning".

The clearest example of comparing several predicted actions does not come from a control task. Smith and Crabtree (1975) collected verbal protocols from well-practised people during a laboratory task in which items had to be scheduled through a sequence of machines with different capacities. The task was to optimise the routes used. This is a task with a large number of degrees of freedom of action, and the people predicted and compared up to 3-4 alternatives.

Predicting Action Effects in New Situations

These examples lead one to ask whether the notion that control choice is made by predicting and comparing the effect of alternatives is inappropriate. Certainly the notion that control is oriented to the future has been mentioned frequently already. In particular, predictions about the future have been discussed in relation to future control targets, possible sequences of behaviour, and process sampling. Umbers (1979a) lists studies which find evidence for open-loop or feed-forward control. The

data on predicting and comparing the effects of actions suggest, however, that this is not done by experienced operators in standard situations.

Predictions may appear as a reason for behaviour, e.g., (from Cooke, 1965) "I'm turning it down to 90, which will make it go down because it's below boiling point". Presumably knowledge about the effects of different actions is also used in the original development of a good control strategy. For example, in the furnace power control task, the knowledge that cutting power to a furnace which is at a particular stage of making a quality steel will disrupt the quality of its output leads to the strategy of cutting power to other furnaces. This information is no longer mentioned when the operator uses the strategy, e.g.:

"I shall have to cut (furnace) E a bit, it was the last to come on, what is it making by the way? ... E make stainless, oh that's a bit dicey ... I shall not have to interfere with E then",

but the information may be available when the operator is asked to explain his behaviour when he is not actually doing the job, e.g.:

"If a furnace is making stainless, it's in the reducing period, obviously it's silly, when the metal temperature and the furnace itself is at peak temperature, it's silly to cut that furnace off".

(These extracts come from the same operator in the same session). This suggests that predicting and comparing actions may be done primarily during the development of new behaviour in unfamiliar situations, which would occur particularly during learning, or when something has gone wrong with the process. Here is an extract from some operators having difficulty with starting up a turbine (Rasmussen and Goodstein, personal communication):

Operator A I don't think anything will happen if we run it all the way up
 Operator B yeah, we're repeating ourselves, right as soon as we come up past a given point there then we can't
 Operator A that's the question
 Operator B yeah, but that was the one which alarmed wait and see
 when it comes over 15, what will it do
 Operator A we won't get any "reverse program" will we?
 Operator B no, no
 Operator A so we can continue
 ALARM there it goes again

These predictions seem to be made using conditional statements which include fairly simple propositions about process behaviour. The types of conditional statement which occur can be analysed, as a basis for beginning to understand this type of behaviour. These are basically of two types, about conditions which affect variable values (including the effect of actions) and about conditions on the use of actions. This use of process knowledge can be compared with Rasmussen and Jensen's (1974) study of electronic maintenance technicians, in which they found that the technicians used a simple general strategy appropriate to many instruments rather than using functional knowledge specific to a particular one. Laboratory studies which test diagnosis, given minimal information about random links, may be appropriate for investigating this type of diagnosis. The above anecdotal examples from process operators do however suggest that they may use functional knowledge. This would be more appropriate in process operators as they are concerned with one process with meaningful relations between the parts, of which they have a great deal of experience, and they need to find out how to control the process despite there being something wrong with it, as well as finding out what is wrong.

This evidence therefore suggests that operators do their trouble shooting by thinking through conditional statements which include simple dynamic knowledge about the process, mainly in the form of directions of change. This is related to the points made about Cooke's (1965) finding that sufficient strategies are based on sufficient simple, mainly cause-and-effect, propositions about process behaviour. It is also related to the points made on problem solving in the section on control goals. This would imply that control strategies are the result of goal (i.e., required behaviour) oriented search through conditional propositions about potential process behaviour. This would suggest that the adequacy of problem solving/trouble shooting would depend on the adequacy of these propositions, and of the procedures used in searching through them. This is something that we need to understand much more fully if we want to aid operators in their trouble-shooting. Rigney and Towne (1969) present a simple model for maintenance technicians' activity sequences which is of this type.

Summary

The operator's knowledge of process dynamics may not be in the form of control equations, but may be the result of simple correlational learning, which could lead to, or be related to, conditional propositions about general aspects of process behaviour. The effectiveness of the operator's "internal model" will depend on his opportunities for interaction with the plant, which emphasises the importance of interface design and training, and has implications for manual take-over. In choosing his control actions the operator may recall previous control attempts. He may

predict the effects of an action as a justification for that action, or in trying to work out what to do in unfamiliar situations. His ability to do this will depend on the form and content of his process knowledge, and modelling this type of behaviour may require sophisticated models of cognitive activity.

GENERAL CONCLUSIONS

This paper has attempted to review the usefulness of control theoretic models, developed for fast tracking tasks, in describing manual control of slowly changing industrial processes. In many cases it seems that slowly changing tasks allow different types of cognitive processes to be used, or the task complexity requires different responses. The paper has not described the full complexity of process control behaviour, as would be evident for example, from reading Edwards and Lees (1974). However, there are still several major themes which have required much cross-referencing in a discussion divided into sections on goals, inputs and output decisions, particularly as these three aspects of behaviour are not necessarily clearly distinguished. The operator's mental or internal model depends on his interactions with the task and is basic to his potential performance. Task decisions are also a function of his "mental picture" or knowledge of the present process state. Complex cognitive activity may be involved in deciding which of the available behaviours is most appropriate in a given multi-dimensional situation, or in generating new behaviours in unfamiliar situations.

The question remains however, whether there are models which can be developed to a level of rigour which would be attractive to engineers. It was suggested earlier that much of the cognitive activity could be modelled by existing computer programming languages. Such programs could be used to predict qualitative aspects of behaviour, the results of decisions. They would not automatically produce quantitative predictions about time and accuracy. This would require parallel calculations, for which we have not yet really got adequate data. For some of the more sophisticated notions which have been mentioned briefly, neither the concepts nor the performance data are yet available. Perhaps some suitable concepts are emerging from Artificial Intelligence, as for example reviewed by Johannsen and Rouse (1979), though often their concepts represent logically possible ways of doing complex tasks, rather than ones which have been tested for parallels with human performance. Essentially we need a great deal more sophisticated analysis of performance in complex tasks, from which human operator mechanisms can be induced.

REFERENCES

- Bainbridge, L., 1971, "The Influence of Display Type on Decision Making Strategy", in: "Displays. Conference Publication No. 80", Institution of Electrical Engineers, London.
- Bainbridge, L., 1974, "Analysis of Verbal Protocols from a Process Control Task", in: Edwards and Lees, op cit.
- Bainbridge, L., 1975, "The Representation of Working Storage and Its Use in the Organisation of Behaviour", in: "Measurement of Human Resources", W.T. Singleton and P. Spurgeon, eds., Taylor and Francis, London.
- Bainbridge, L., 1979, "Verbal Reports as Evidence of the Process Operator's Knowledge", *Int. J. Man-Machine Studies*, 11:411.
- Baron, S., and Kleinman, D.L., 1969, "The Human as an Optimal Controller and Information Processor", *IEEE Trans. Man-Machine Syst.*, MMS-10:9.
- Bartlett, F.C., 1943, "Fatigue Following Highly Skilled Work", *Proc. Roy. Soc. B.*, 131:247.
- Beishon, R.J., 1967, "Problems of Task Description in Process Control", *Ergonomics*, 10:177.
- Beishon, R.J., 1969, "An Analysis and Simulation of an Operator's Behaviour in Controlling Continuous Baking Ovens", in: "The Simulation of Human Behaviour", F. Bresson and M. de Montmollin, eds., Dunod, Paris, reprinted in: Edwards and Lees op cit.
- Brigham, F.R., and Laios, L., 1975, "Operator Performance in the Control of a Laboratory Process Plant", *Ergonomics*, 18:53.
- Carbonell, J.R., 1966, "A Queuing Model of Many-Instrument Visual Sampling", *IEEE Trans. Hum. Fact. Electron.*, HFE-7:157.
- Carbonell, J.R., Ward, J.L., and Senders, J.W., 1968, "A Queuing Model of Visual Sampling: Experimental Validation", *IEEE Trans. Man-Machine Syst.*, MMS-9:82.
- Cooke, J.E., 1965, "Human Decisions in the Control of a Slow Response System", Unpublished D.Phil. Thesis, University of Oxford.
- Crossman, E.R.F.W., and Cooke, J.E., 1962, "Manual Control of Slow-Response Systems", in: *International Congress on Human Factors in Electronics*, Long Beach, California, reprinted in: Edwards and Lees op cit.
- Edwards, E., and Lees, F.P., 1974, "The Human Operator in Process Control", Taylor and Francis, London.
- Efstathiou, J. and Rajkovic, V., 1979, "Multi-Attribute Decision Making Using a Fuzzy Heuristic Approach", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, SMC-9: 326.
- Hamilton, P., 1969, "Selective Monitoring in Multisource Monitoring Tasks", *J. Exper. Psychol.*, 82:34.
- Jagacinski, R.J., and Miller, R.A., 1978, "Describing the Human Operator's Internal Model of a Dynamic System", *Human Factors*, 20:425.

- Johannsen, G., and Rouse, W.B., 1979, "Mathematical Concepts for Modelling Human Behaviour in Complex Man-Machine Systems", *Human Factors*, 21:733.
- Kleinman, D.L., and Curry, R.E., 1977, "Some New Control Theoretic Models for Human Operator Display Monitoring", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, SMC-7: 778.
- Kok, J., and van Wijk, R., 1978, "Evaluation of Models Describing Human Operator Control of Slowly Responding Complex Systems", Delft University Press.
- Mackworth, J.F., 1970, "Vigilance and Attention", Penguin, Harmondsworth.
- Mamdani, E.H., and Assilian, S., 1975, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", *Int. J. Man-Machine Studies*, 7:1.
- Paternotte, P.H., 1978, "The Control Performance of Operators Controlling a Continuous Distillation Process", *Ergonomics*, 21:671.
- Paternotte, P.H., and Verhagen, L.H.J.M., 1979, "Human Operator Research with a Simulated Distillation Process", *Ergonomics*, 22:19.
- Pew, R.W., 1974, "Human Perceptual-Motor Performance", in: "Human Information Processing: Tutorials in Performance and Cognition", B.H. Kantowitz, ed., Erlbaum, New York.
- Rasmussen, J., and Jensen Aa., 1974, "Mental Procedures in Real-Life Tasks: A Case Study of Electronic Trouble Shooting", *Ergonomics*, 17:293.
- Rigney, J.W., and Towne, D.M., 1969, "Computer Techniques for Analysing the Micro-Structure of Serial-Action Work in Industry", *Human Factors*, 11:113.
- Senders, J.W., 1964, "The Human Operator as a Monitor and Controller of Multi-Degree of Freedom Systems", *IRE Trans. Hum. Fact. Electron.*, HFE-5: 2.
- Sheridan, T.B., 1966, "Three Models of Preview Control", *IEEE Trans. Hum. Fact. Electron.*, HFE-7: 91.
- Sheridan, T.B., 1976, "Toward a General Model of Supervisory Control", in: "Monitoring Behaviour and Supervisory Control", T.B. Sheridan and G. Johannsen, eds., Plenum Press, New York.
- Smith, H.T., and Crabtree, R., 1975, "Interactive Planning", *Int. J. Man-Machine Studies*, 7:213.
- Teichner, W.H., and Krebs, M.J., 1974, "Laws of Visual Choice Reaction Time", *Psych. Rev.*, 81:75.
- Umbers, I.G., 1976, "A Study of Cognitive Skills in Complex Systems", Unpublished Ph.D. Thesis, University of Aston in Birmingham.
- Umbers, I.G., 1979a, "Models of the Process Operator", *Int. J. Man-Machine Studies*, 11:263.
- Umbers, I.G., 1979b, "A Study of the Control Skills of Gas Grid Control Engineers", *Ergonomics*, 22:557.

- Veldhuyzen, W., and Stassen, H.G., 1977, "The Internal Model Concept: An Application to Modelling Human Control of Large Ships", *Human Factors*, 19:367.
- Wickens, C.D., and Kessel, C., 1979, "The Effects of Participatory Mode and Task Workload on the Detection of Dynamic System Failures", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, SMC-9: 24.
- Winograd, T., 1972, "Understanding Natural Language", Edinburgh University Press.