



DOCUMENTATION

## CAHIERS D'ÉTUDES

*Bulletin n° 38*  
*Septembre 1976*

LA FATIGUE  
DU CONDUCTEUR

CDAT  
15062

**L'ORGANISME NATIONAL DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE**  
*est une association ayant pour objet de procéder aux études  
et recherches de toutes natures sur les accidents de la circulation  
routière et sur les mesures destinées à accroître la sécurité  
de cette circulation, ainsi que de promouvoir toutes activités  
ayant le même objet. Les Ministères intéressés à la sécurité  
routière sont représentés dans son Conseil d'Administration.*

*Président : H. Larrieu.*

*Directeur : M. Halpern Herla.*

*Les bulletins peuvent être reproduits librement sous réserve que l'origine :  
« Cahiers d'Etudes de l'Organisme National de Sécurité Routière »  
soit mentionnée  
Siège social : 244, boulevard Saint-Germain - 75007 Paris.  
Administration : avenue du Général Malleret Joinville - 94110 Arcueil.*

## LA FATIGUE DU CONDUCTEUR \*

### I – FATIGUE ET CONDUITE

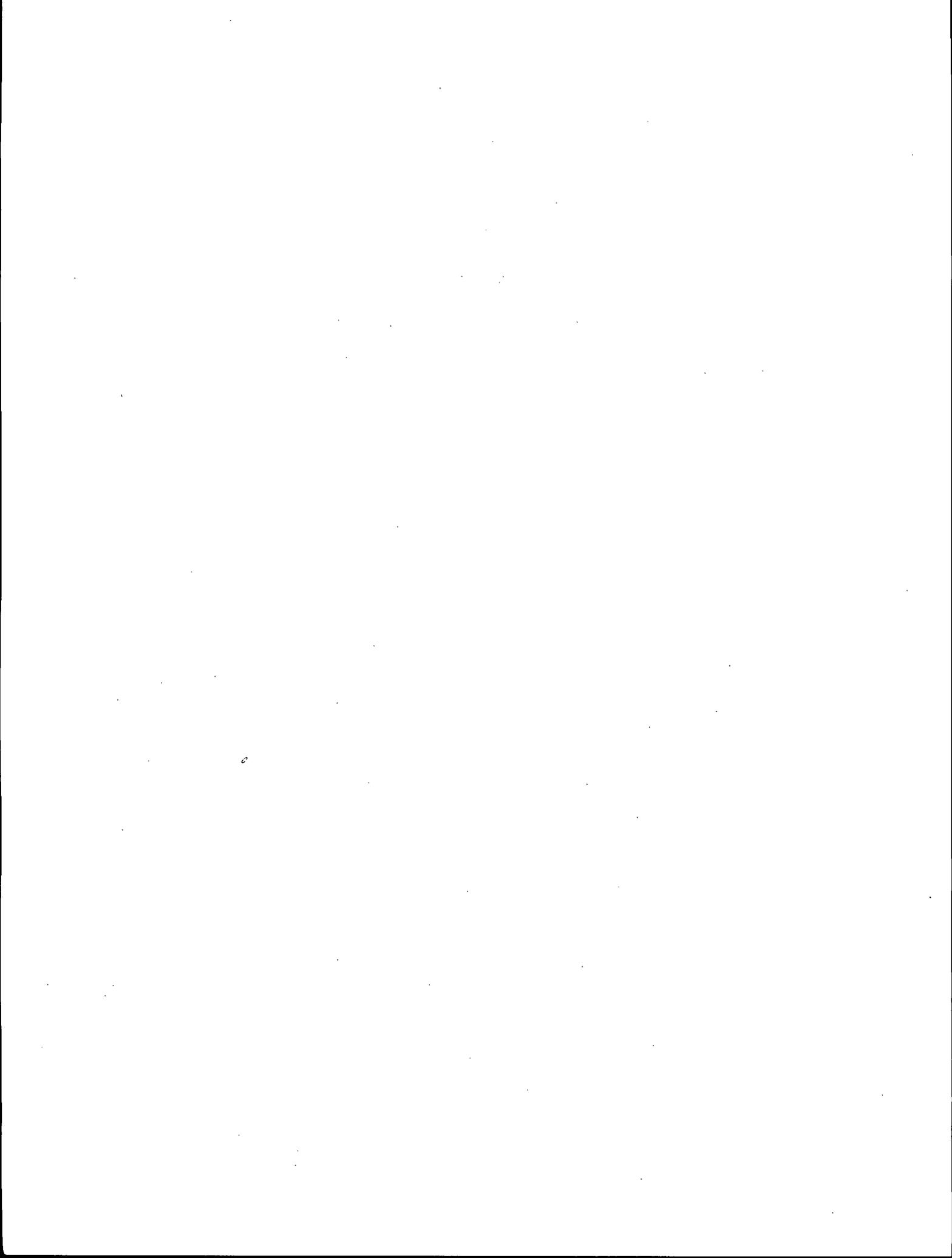
<b>1 - Les aspects subjectifs de la fatigue</b> .....	<b>6</b>
<b>2 - Les aspects objectifs de la fatigue</b> .....	<b>7</b>
a) les tests «avant-après»	
b) l'étude pendant la conduite :	
– par l'observation des actions du conducteur ;	
– par le relevé d'indices de performance lors de la conduite :	
. sur route,	
. sur simulateur.	
<b>3 - La charge mentale lors de la conduite</b> .....	<b>11</b>
a) la charge mentale	
b) la charge mentale et la fatigue	
c) la performance à une tâche subsidiaire.	
<b>4 - Les variations physiologiques pendant de longs trajets</b> .....	<b>12</b>
a) le stress et la conduite	
b) le coût physiologique de la conduite	
c) les variations biochimiques au cours de la conduite.	
<b>5 - Etude de l'effet de facteurs particuliers sur la fatigue du conducteur</b> .....	<b>15</b>
a) l'effet de la privation de sommeil	
b) l'effet de pauses	
c) l'effet de la musique et de la parole sur l'état du conducteur.	

### II – VIGILANCE ET CONDUITE

<b>1 - La vigilance et la fatigue</b> .....	<b>17</b>
<b>2 - La vigilance</b> .....	<b>18</b>
<b>3 - Le choix des indicateurs de la vigilance</b> .....	<b>19</b>
a) les indicateurs électro corticaux	
b) les indicateurs végétatifs.	
<b>4 - Vigilance et conduite automobile (travaux effectués à l'ONSER)</b> .....	<b>21</b>
a) la relation entre les situations de conduite et les états de vigilance du conducteur	
b) épreuves comparées de deux heures et de quatre heures de conduite sur autoroute, la nuit	
c) six heures de conduite avec et sans pauses sur autoroute, la nuit,	
d) le niveau de vigilance de conducteurs professionnels	
e) le niveau d'éveil de conducteurs lors de longs trajets monotones de nuit sur autoroute	
f) l'effet de signaux lumineux sur le niveau de vigilance du conducteur	
g) l'état vigile du conducteur soumis à un guidage.	

<b>III – CONCLUSION</b> .....	<b>30</b>
-------------------------------	-----------

\* Etude réalisée pour le compte de la Direction des Routes et de la Circulation Routière.



## INTRODUCTION

Depuis 1960, à son début, l'ONSER a pris pour sujet d'étude la fatigue du conducteur et, peu à peu on a vu évoluer les travaux dont le thème est, en 1975, celui des variations des états de vigilance lors de la conduite. Ainsi peut-on se demander quels ont été les moteurs de cette évolution et, sous forme d'une sorte de bilan de ces travaux, tenter d'en dégager à la fois les apports, les contraintes et les richesses.

Peut-on encore parler de phénomènes de fatigue et quels sont leurs rapports avec ceux de vigilance, sans doute plus importants dans le cadre nouveau de la conduite sur autoroute ? Comment interviennent alors les processus d'attention ? Autant de questions reprenant des termes souvent utilisés indifféremment et auxquels il convient de donner un contenu précis et opérationnel en même temps que des corrélats théoriques susceptibles d'orienter la recherche.

S'il est peu contestable que la fatigue est un problème de la conduite comme il est celui de toutes les activités industrielles, ses rapports avec l'insécurité sont probablement très complexes, de sorte que l'analyse en termes statistiques montre des difficultés importantes. L'accident est souvent le point de convergence d'un grand nombre de facteurs et, si la fatigue — ou l'assoupissement — n'est pas directement responsable de la défaillance humaine, elle peut avoir un rôle au sens où par exemple elle perturbe l'action de mécanismes compensatoires importants.

La diversité des expressions de la fatigue et essentiellement leur subtilité rend malaisée la recherche de déterminants typiques des «accidents par fatigue». Tarrière (1960) s'attache aux «accidents inexplicables» et constate que plus de la moitié des accidents survenus sans collision se sont produits sur ligne droite, de sorte que 19 % d'entr'eux peuvent être attribués à des conducteurs déficients dont les 2/3 sont fatigués, endormis, inattentifs ou distraits. Baker (1967), utilisant le critère de «véhicule seul», montre que 24,4 % des accidents de nuit sont dus à des assoupissements. Case et Hulbert (1970) évaluent cette proportion à 22 % en considérant les résultats de plusieurs années. Au cours d'une enquête clinique sur les accidents survenus sur l'autoroute A6 en 1968 (non publiée), on avait pu, à partir des procès-

verbaux, mettre en évidence des schémas-types d'accidents liés à la fatigue en utilisant certains descripteurs, (Schéma a : absence de manœuvre - circulation très faible. Schéma b : longue distance parcourue - vitesse réduite par suite du rodage, d'une faible cylindrée ou mauvaise visibilité - absence de manœuvres - conducteur seul, ou la nuit, ou assoupi).

Malgré le caractère nécessairement approximatif des données d'ailleurs peu nombreuses, il reste qu'environ 40 % des accidents montrent des comportements inadaptés, en relation avec le phénomène de fatigue. Il s'agit bien d'un problème de sécurité routière qu'il importe d'étudier car ses relations à la conduite sont complexes et ses modalités d'apparition mal connues.

L'objet de ce travail est de prendre une mesure à la fois du problème de la fatigue du conducteur et de ses approches possibles. Il a semblé utile d'effectuer un bilan en envisageant l'ensemble des résultats expérimentaux dont on dispose actuellement, surtout dans le domaine de la sécurité routière, parmi lesquels se placeront naturellement ceux de l'ONSER.

Dans un premier temps, il semble que l'on doive s'attacher à l'analyse du concept de fatigue en se référant aux travaux descriptifs de la fatigue, prise dans son sens le plus général, pour en déduire les notions applicables à la conduite et aborder les études spécifiques à celle-ci. Il sera d'ailleurs utile de faire appel parfois aux résultats issus d'études menées en d'autres milieux, industriel par exemple, car des méthodologies différentes pourraient apporter un éclairage nouveau à la problématique de la sécurité routière.

A partir de cet ensemble de documents, on sera amené dans une seconde partie à exposer en les discutant les voies d'approche choisies par l'ONSER en montrant à la fois leur spécificité et leurs limites. En effet, dans le cadre des recherches appliquées il peut être opportun de préciser l'information à attendre de certaines études et, par exemple, d'indiquer l'aspect plutôt qualitatif ou statistique des données obtenues. Aussi, dans les perspectives définies et en l'état actuel des connaissances concernant les problèmes de fatigue et de vigilance, ce travail devrait-il amener à dégager les développements possibles d'études se rapportant au phénomène général de fatigue, focalisées sur les éléments actuels d'une problématique de la sécurité routière.

## I – FATIGUE ET CONDUITE (Revue bibliographique critique)

La fatigue a été souvent étudiée et l'on peut trouver autant de définitions que de travaux la concernant et, bien souvent, si l'on mesure une performance que l'on voit diminuer au cours du temps, on conclut qu'il y a fatigue après un certain temps de travail, à partir de quoi il est aisé d'étudier la baisse de performance comme un signe de fatigue. Ce raisonnement circulaire, dénoncé par Murrell (1967), permet de mettre en relations causales les éléments de baisse de performance et de fatigue et de circonscrire un problème aussi évident et pourtant mal défini.

En tentant de l'analyser, on constate que la notion de fatigue est complexe et peut recouvrir deux classes de symptômes très différents, désignant à la fois une sensation d'ensemble, un sentiment, mais aussi une fatigue localisée (Chauchard) observable objectivement, qu'elle soit musculaire, nerveuse ou sensorielle.

On peut donc aborder ce problème par l'inventaire des **symptômes subjectifs**, correspondant au sentiment de malaise, d'inconfort, besoin de repos auquel les sujets fatigués peuvent être soumis ; ou bien on peut observer les **symptômes objectifs de la fatigue** en étudiant la diminution des performances et les diverses modifications physiologiques qui peuvent en résulter.

### 1 - Les aspects subjectifs de la fatigue

#### *Le sentiment de fatigue*

Le terme de fatigue renvoie à une impression de malaise et de désagrément, une sensation qui est importante car elle joue le rôle d'un signal d'alarme pour l'organisme. C'est en ce sens que Bartley et Chute (1947) parlent de la fatigue comme un régulateur de l'activité qui empêche l'organisme d'atteindre des états extrêmes d'épuisement.

Ainsi, on a pu dire que la fatigue «névrotique» est un élément d'adaptation, un signal déclenchant intervenant éventuellement pour susciter une régulation du système; la psychologie des profondeurs fait appel aux notions de conversion, d'inhibition ou d'agression. N'étant tout d'abord qu'un mécanisme de défense de l'organisme entre ses tendances à l'activité et une nécessité de repos, la fatigue peut devenir imperceptiblement une conduite d'évitement généralisée et mener, entre autres, à la psychasthénie et à la neurasthénie. «La fatigue et l'asthénie apparaissent comme un échec de cette tentative d'équilibration entre ces deux ordres de forces (personnelles ou sociales), une démission signant l'incapacité de résoudre un conflit dans le sens de l'affirmation de soi ou dans le sens de l'obéissance aux obligations de la société». (Veil C. et coll. 1972).

Dans le cas de la conduite automobile, Villaret et coll. (1969), en étudiant les conditions dans lesquelles les conducteurs préparent de longs déplacements, mettent en évidence chez de nombreux interviewés la notion d'un seuil à partir duquel la conduite devient dangereuse. Le «signal» existe donc mais cet auteur souligne le fait que, ayant conscience de ce seuil, rien ne prouve que les conducteurs modifient leur comportement et réduisent leur prise de risque.

Au cours d'une enquête préliminaire, Giscard (1966) apportait peut-être des éléments d'explication de ces données car il observe que la conduite dans un état de fatigue n'est pas considérée comme une situation comportant des risques importants. L'auteur pense que la gravité attribuée à une situation de conduite est liée au degré de dépendance que celle-ci laisse au conducteur. Ainsi, ivre ou drogué par un somnifère, le conducteur n'est plus maître de lui alors que, même fatigué, il peut garder le contrôle de son véhicule car d'importantes compensations entrent en jeu.

De plus, les conducteurs interrogés lors d'une expérimentation de longue durée font appel à un seuil personnel connu d'eux seuls et qu'ils savent ne pas dépasser. Cette notion d'autocontrôle apparaît comme une constante, notamment dans les problèmes d'ingestion alcoolique (voir l'étude de l'Hoste et Monsœur, ONSER à paraître) et prend de l'intérêt dans les actions de formation et d'information des conducteurs. **Signal d'alarme pour l'organisme, la fatigue est donc parfois négligée par l'opérateur, qui croit la dominer parce qu'il connaît bien ses signes.** En milieu industriel, le phénomène est bien connu du dépassement du seuil critique de sensation de fatigue. Cette attitude, observée par Giscard chez le conducteur, est sans doute favorisée par le fait que la conduite est considérée comme une activité de délasserment, à caractère ludique.

Le conducteur a tendance à surestimer le moment d'apparition du seuil critique. Ainsi Prokop et coll. (1955) interrogent 569 conducteurs sur les premiers signes de fatigue ressentis ; ils se situent entre 200 et 500 km de trajet pour 79 % des conducteurs, avec une pointe à 300 km. Cependant, si l'on demande de déterminer le temps d'apparition de ces symptômes, 77 % des personnes indiquent entre la 3ème et la 8ème heure de parcours, surestimant ainsi leurs capacités par rapport aux signes objectifs de fatigue.

Au cours de la même enquête, les auteurs demandent quels sont les facteurs favorisant l'apparition de la fatigue : ils regroupent 30 items concernant :

– les facteurs exogènes (monotonie de la conduite,

connaissance du parcours, trafic, conditions atmosphériques, etc) ;

- les facteurs liés au véhicule (siège inconfortable, bruit du moteur, fenêtres fermées, aération insuffisante, etc.) ;
- les facteurs liés à l'état du conducteur, (position assise, conducteur seul, contrariété, etc.).

Pour remédier à cette imprécision au niveau de l'analyse des phénomènes, on a tenté d'établir des échelles de fatigue. Ce type de donnée, de portée limitée, peut avoir le rôle d'indicateur subjectif de la charge ressentie par l'opérateur ; il peut être un complément intéressant d'une investigation objective des états de fatigue ou des performances mettant en évidence la charge effective d'une tâche en relation avec son «coût» psychologique.

Des échelles de ce type sont employées par Poffenberger (1928), Pearson (1957), Mc Nelly (1966) puis Yoshitake (1971) qui demandent avec quelques variantes aux opérateurs de caractériser leur sentiment de fatigue à l'aide de critères préétablis. Wolf (1967) met en relation trois types de «fatigues» différentes et montre des différences selon le niveau de motivation des sujets.

L'échelle d'attitudes, outre l'intérêt d'une classification sommaire des réactions des sujets à une situation, présente des limites liées notamment au nombre de catégories composant l'échelle.

En perdant semble-t-il beaucoup de leur intérêt, ces échelles peuvent être utilisées dans le cadre d'une évaluation globale de la tâche faite par une tierce personne qui observe le travailleur. Ainsi, Kashiwagi (1971) établit une échelle d'évaluation de la fatigue dans laquelle il sélectionne 20 items devant permettre aux contremaîtres des chemins de fer japonais de juger des conducteurs de trains. Cette méthode d'étude est facile à utiliser et permettrait de dégager les composantes les plus importantes de la fatigue à un poste de travail donné.

Cependant les apports de cette dernière méthode sont à différencier des données fournies par l'évaluation subjective de l'opérateur sur sa tâche car si, dans ce dernier cas, on a affaire à une estimation extérieure de la performance, l'échelle d'attitude rend compte, elle, d'une sensation générale et du coût psychologique de la tâche dans toute sa complexité. Un schéma de cette sensation de fatigue, dans la multiplicité de ses signes et de ses origines, a été donné par Grandjean et coll. (1971) qui la comparent au niveau d'un liquide dans un container où se déverseraient différents «facteurs» (fig. 1) dont la disparition complète correspondrait à la période de récupération.

L'appréciation subjective par différents moyens – et notamment les échelles de fatigue – ne donne que des indications générales dont l'application reste délicate. Des signes plus objectifs peuvent être recueillis à divers niveaux : on peut observer les variations de performance à la tâche en postulant que la diminution au rendement révèle un état de fatigue de l'opérateur ; on peut aussi

observer les variations du comportement et leur altération avec le temps mais on peut aussi se placer à un niveau plus élémentaire qui permettrait peut-être, à la fois de dégager les invariants physiologiques du phénomène de fatigue et d'en déduire une hypothèse explicative.

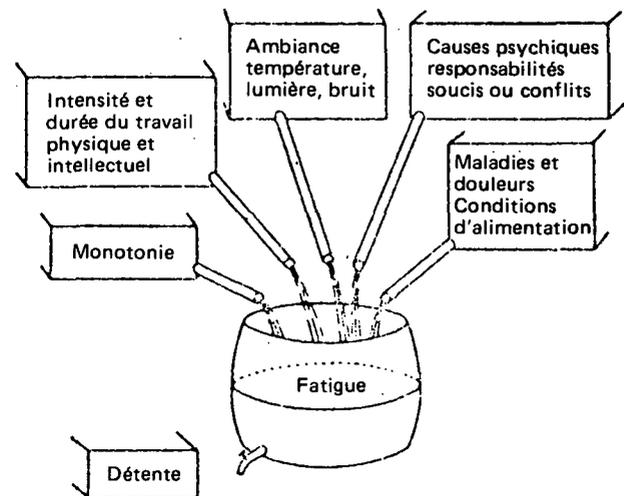


Fig. 1 – Principales causes de fatigue  
Schéma montrant les facteurs importants de fatigue, normalement compensée par les processus de récupération (repos nocturne, congés, arrêts de travail...). (D'après Grandjean, 1971).

## 2 - Les aspects objectifs de la fatigue lors de la conduite

On peut, avec les physiologistes, penser que l'état de fatigue affecte l'organisme globalement dans le sens où l'agression d'une des parties perturbe les autres, car des mécanismes de compensation entrent en jeu. Alors on définit la fatigue comme un état de l'organisme l'affectant dans son ensemble et dont la propriété essentielle est d'être réversible. Dans cette perspective, l'étude d'une performance prolongée est susceptible de rendre compte des phénomènes de fatigue mais cette approche porte en elle le risque de sous-estimer justement les mécanismes de compensation.

A partir de la dimension «performance» du comportement, Bartlett (1953) indique trois critères : les actes manqués, l'irrégularité dans la performance et la variabilité d'apparition de ces phénomènes. Le même auteur, en 1951, montre la diminution d'efficacité des pilotes de la RAF à mesure que le temps passe. Des variations peuvent être apportées à cette détérioration de la performance par l'intervention notamment de facteurs d'ordre émotif, de motivations importantes. Ce phénomène est depuis longtemps démontré dans l'industrie.

Toutefois dans le domaine de la conduite, la notion de performance est difficile à cerner parce que l'on ne possède pas de schéma-type de la «bonne performance de conduite» ; l'accident n'est pas nécessairement le

résultat d'une faute de conduite et l'intervention de nombreux phénomènes de compensation ne permet pas, le plus souvent, d'observer des variations au niveau de la tâche globale dans les conditions « normales » de conduite. C'est pourquoi, pour étudier d'éventuelles variations dans le comportement des conducteurs, les premiers chercheurs ont analysé les effets de longues périodes de conduite en postulant des modifications globales de certaines fonctions.

#### a) *Les tests avant-après*

Ainsi, Ryan et Warner (1936) observent six conducteurs avant et après huit heures de conduite. Ils font passer des tests variés : coordination oculomotrice, test visuel, test de couleurs, posture, réaction musculaire épidermique. Constatant les détériorations à ces différentes épreuves, les auteurs les considèrent comme le résultat de la conduite.

L'étude de Lahy (1937) consistait à interrompre le trajet de conducteurs pour les soumettre à des tests dans un véhicule suivi équipé. Deux sujets seulement furent observés et les variations constatées n'étaient pas systématiques. Jones et coll. (1941) mènent en revanche une étude sur 889 conducteurs professionnels. Toutes sortes de tests psychologiques et physiologiques sont passés après différentes durées de conduite sans que, là encore, le paramètre de durée intervienne de façon évidente sur les résultats obtenus.

Ces résultats suggèrent plusieurs réflexions. On peut en effet se demander :

- si les tests étudiés concernent des aptitudes réellement mises en jeu au cours de la conduite et donc affectées par elle ;
- si c'est le cas, on se demandera si ces aptitudes sont prédominantes et résistent au transfert entre la conduite elle-même et une situation de laboratoire ;
- si le test d'une quelconque fonction en dehors de la situation dans laquelle celle-ci s'exerce ne la modifie pas quant à sa nature même, le changement d'activité étant souvent interprété comme une distraction et une sorte de trêve par l'opérateur ; ce phénomène s'observe dans le cas des pauses actives (1) dont l'efficacité est reconnue.

Pour résoudre certaines de ces difficultés, Herbert et Jaynes (1964) pensent qu'il convient de tester la conduite à l'aide d'épreuves de conduite réelle. Ils utilisent une batterie mise au point pour des camions. La perception de l'espace, l'orientation et la coordination sont testées à l'aide des épreuves suivantes : garer le camion à gauche, à droite, faire un demi-tour de 90° et se garer dans un emplacement, passer dans un couloir. La poursuite (tracking) ou précision des manœuvres est testée par l'épreuve dite du miroir inversé : une trajectoire droite à suivre en marche arrière à l'aide d'un seul rétroviseur latéral, un test non visuel où le conducteur doit se

fier à son orientation spatiale et ses impressions proprioceptives pour guider son camion sur une piste de pierres.

Au cours du dernier test qui éprouve les capacités de coordination, d'orientation spatiale et de proprioception du conducteur, on demande au sujet de se reconnaître à travers un trajet complexe dessiné au sol. Les deux dernières tâches sont des démarrages en côte en marche avant et en marche arrière.

Les auteurs montrent une détérioration du comportement après des trajets de sept heures. Ce travail a été décrit en détail car il semble être une rare tentative d'application de la théorie des tests à la conduite. Si le sujet, en effet, est contraint de changer de tâche entre sa période de conduite et le test, l'activité de base reste toutefois la même et l'on constate que certaines des manœuvres demandées sont les manœuvres d'un trajet normal que le conducteur doit toutefois effectuer avec une précision particulière.

Utilisée plus tard par Cohen pour dépister les effets de l'imprégnation alcoolique sur la prise de risque par le conducteur, l'épreuve de conduite semble bien s'appliquer à des altérations globales du comportement dans le cas de consommation de drogues ou d'alcool par exemple. Elle donne peu de renseignements intéressants lorsque la fatigue est le facteur perturbant car celle-ci est essentiellement fluctuante. Les tests après conduite même s'il est fiable, est effectué dans une condition différente « per se » de la conduite et, par là même, la fonction étudiée sera modifiée.

Dans le cas d'une activité comme la conduite, le seul fait de changer la tâche peut déterminer une modification très profonde de l'activité nerveuse car celle-ci est sensible aux changements quels qu'ils soient (Bloch 1966). Aussi peut-on se demander d'ores et déjà si la référence aux fluctuations d'une activité centrale ne reporte pas à la notion de niveaux de vigilance plutôt qu'à celle de fatigue.

#### b) *L'étude pendant la conduite*

Pour s'en tenir à l'analyse des modifications d'une performance, l'étude la plus efficace sera donc celle qui sera faite lors même de l'activité de conduite. On peut distinguer les études faites par observation du conducteur, de celles qui font appel à des techniques de mesure des performances. Cependant, plus difficile à mettre en œuvre, cette approche a fait l'objet de travaux sur route, sur simulateur ou le laboratoire.

#### *L'observation des actions du conducteur.*

C'est Potts (1951) qui le premier utilise la méthode d'observation directe ; il accompagne 17 conducteurs de camions et relève les « presque accidents » au cours de périodes de conduite de neuf heures. Il trouve que leur nombre diminue lorsque le temps de conduite augmente.

(1) On entend par pause active une interruption de l'activité de travail au cours de laquelle l'opérateur pratique une autre activité (gymnastique, sport, etc.).

Ainsi, 67 % des presque accidents arrivent lors des quatre premières heures de conduite. Ce résultat va contre l'hypothèse selon laquelle la « fatigue » aurait pour conséquence d'augmenter l'inadaptation à la tâche.

Toutefois, différentes questions d'ordre méthodologique se posent dont la plus importante est de savoir dans quelle mesure la fatigue de l'observateur intervient, elle aussi.

En 1970, Brown, Tickner et Simmonds analysent de la même manière l'effet d'une longue période de conduite sur le comportement de dépassement, en se rapportant à la situation de conduite en ville. Entre les périodes de test, les sujets effectuent un trajet en rase campagne. En tout, le conducteur passe douze heures au volant. Durant les quatre périodes de trafic urbain, les observateurs notent le degré de risque de la manœuvre. Les auteurs montrent que, lors des dernières périodes de test, on constate une augmentation significative des tentatives de dépassement dans des conditions de risque élevé.

Au cours des observations de Potts et celles de Brown et coll. qui donnent des résultats inverses, on peut penser que le comportement verbal demandé à l'observateur, malgré son expérience de la conduite, imprime une large distorsion à l'analyse. Le jugement global de l'activité, même lors de situations précises comme les dépassements, est une tâche malaisée si l'on utilise le critère simple de risque. Quenault a perfectionné une technique d'observation qui pourrait être appliquée à ce problème.

Utilisant des critères plus précis, Mc Farland et Moseley (1954) demandent à des expérimentateurs d'observer la fréquence de différentes activités. Ils montrent que certains instruments sont progressivement utilisés au cours de trajets de longue durée (avertisseur) ou au contraire de moins en moins (passage de codes en phares). Mais là encore le résultat est global et l'on manque de données associant les variations en termes d'activité à des variations des événements du trajet.

*Le relevé d'indices de performance lors de la conduite.*

#### **Sur route :**

Au cours des dernières décennies, les progrès de la technologie ont permis de réaliser des observations précises au cours de la conduite et d'étudier la variation de certaines performances à l'aide de véhicules équipés :

Greenshields (1961) utilise un « drivometer », dispositif complexe embarqué permettant d'enregistrer à la fois des données concernant la manipulation du véhicule et les événements du parcours par l'utilisation d'une caméra. Il met en évidence des schémas typiques de conduite selon l'expérience des sujets. Cet appareil est mis en œuvre dans le cas des problèmes de fatigue du conducteur par Platt (1964) qui montre une variation caractéristique des indices de tracking et de contrôle de la vitesse aux stades précoces de la fatigue.

Sans ajouter aucun dispositif particulier au véhicule, Safford et Rockwell (1967) utilisent un polygraphe pour

rendre compte des variations de pressions sur l'accélérateur, sur le frein, des mouvements du volant et de la vitesse du véhicule. Les auteurs obtiennent peu de corrélations dans leurs résultats. Seuls les mouvements du volant subissent une augmentation constante au cours du temps.

Shaw (1958) utilise aussi l'indice de pression sur l'accélérateur et n'observe pas non plus d'effet caractéristique. L'indice de performance le plus intéressant semble être le mouvement du volant, ces résultats rejoignant l'observation ancienne de Mc Farland et Moseley (1954) et ceux plus récents de Safford et coll. De même, Michaut et Pottier (1964) observent sur route une diminution du nombre des mouvements du volant lors de trajets monotones.

La concordance qui semble apparaître d'après ces résultats a amené un constructeur à mettre au point un indicateur de vigilance (alertness) qui compare à chaque minute le nombre de mouvements du volant effectués par le conducteur à ceux qu'il a faits au début du trajet. Une valeur seuil est fixée, au-delà de laquelle un signal sonore est déclenché. O'Hanlon (1971) qui cite cette découverte espère que ce système est efficace, même après que le signal ait été répété.

#### **Sur simulateur :**

Sur simulateur, de nombreuses études ont été menées dans le double but de mieux isoler la variable étudiée en faisant varier sans risque la durée de la tâche.

Mc Farland et Moseley (1954) rapportent l'étude d'un sujet éveillé depuis vingt-quatre heures. Un film simulant l'environnement de conduite lui est présenté pendant quatre heures, quatre vingt dix fois successives. Les auteurs ne constatent pas de différence au cours des quatre heures en ce qui concerne des performances telles que le changement de vitesse, les erreurs de trajectoire, le temps de freinage et l'utilisation des indicateurs de direction. Les auteurs pensent que des mécanismes compensatoires se sont développés. L'absence d'un sujet-contrôle ou d'expériences complémentaires rend la discussion difficile.

Dans une étude centrée sur la vigilance du conducteur, Sussman et Morris (1971) montrent que lors d'épreuves de quatre heures de simulation de conduite continue, le nombre de mouvements du volant tend à diminuer. Harris et coll. (1972) rapportent une expérience de Mast, Jones et Heimstra (1966) qui enregistrent les erreurs de tracking, le contrôle de la vitesse et le temps de réaction lors d'épreuves de six heures.

La validité des études sur simulateur tient au transfert possible entre la tâche simulée et la conduite réelle. Ainsi, la dégradation de performance de sujets privés de sommeil depuis vingt-quatre heures (Hulbert et Wojcik, 1965) apparaît de façon importante sur un simulateur de conduite, alors que les études classiques montrent cet effet beaucoup plus tardivement lors de privations de sommeil. Michaut (1969), étudiant la fonction des simu-

lateurs, s'interroge sur la validité des études faites dans ces conditions car la recherche menée en laboratoire doit progresser en retour vers la situation réelle. Cette méthodologie «peut paraître porter en elle la condamnation d'un certain nombre de recherches effectuées sur simulateur : celles, justement, que l'on ne peut absolument pas réaliser en grandeur réelle puisqu'il est, alors, impossible de passer du simulateur à la situation réelle».

Des résultats ultérieurs (SEFFORD et coll 1967) indiqueraient que les résultats de Hulbert et Wojcik sont spécifiques de la situation de laboratoire et peuvent être modifiés sur le terrain par des facteurs de motivation divers (prise de risque, intérêt à la tâche par des rémunérations, etc.), ce que d'ailleurs ces auteurs supposaient. Les mêmes types de critique peuvent s'appliquer à la comparaison entre les tâches dites de vigilance et certaines situations de conduite monotone. Le «clock test» de Mackworth (1950) offre une tâche contrôlée qui montre la détérioration du nombre de réponses en fonction de la durée de la tâche avec une augmentation du nombre d'omissions. Bien qu'elle mette en jeu certains mécanismes probablement identiques, en premier lieu, on remarquera que la conduite, à la différence des tâches de type clock test, est une tâche contrôlée par l'opérateur lui-même. Cette différence de nature entre les deux types de tâches avance peu la réflexion car le transfert est difficile. En outre, les différences d'environnement entre les deux épreuves sont d'importance et laissent penser que si une certaine aptitude à percevoir les signaux irréguliers est affectée lorsque la tâche se prolonge, peut-être ce phénomène se retrouve-t-il dans la conduite.

Michaut (1964) s'interroge sur la possibilité de transfert de résultats de laboratoire à une situation réelle. Il tente d'appliquer, sur un circuit routier monotone, un protocole expérimental proche de celui qui a été utilisé par Tarrière (1960). Cet auteur montrait au sujet assis dans une pièce un film représentant le défilement d'une route de forêt monotone. L'apparition aléatoire de taches lumineuses de petit diamètre sur l'écran devait entraîner la pression d'un bouton par le sujet. Tarrière observe une dégradation de la performance au cours des trois premières demi-heures d'épreuve. Dans le milieu de conduite réelle monotone qu'est le circuit de vitesse de Montlhéry, Michaut ne retrouve pas cette tendance : la variation du pourcentage de détections au cours des trois heures de conduite n'est pas significative. Pour cet auteur, la différence observée dans les résultats est liée aux différences existant entre ces deux situations apparemment proches.

En laboratoire, la tâche de détection ne modifie pas le caractère monotone de la situation alors que, lors de la conduite, ces signaux rares s'inscrivent dans le cadre d'une tâche active: La richesse de l'environnement atténue probablement l'effet de la monotonie. Peut-être aurait-on retrouvé une tendance à la diminution des

performances lors de trajets expérimentaux beaucoup plus longs.

Outre cette interrogation fondamentale sur laquelle on reviendra car c'est celle de la valeur de la simulation, il convient de préciser que, d'une part, la conduite est une tâche autoréglée : le conducteur peut réduire sa vitesse, modifier son trajet selon son goût ; cependant, il se doit de répondre aux signaux de l'environnement fixes (feux de circulation, panneaux de signalisation) ou mobiles (présence des autres véhicules) et, en ce sens, la régulation du système se fait de manière autoritaire.

Des travaux présentés, il ressort très schématiquement que le conducteur soumis à des signaux peu fréquents risque de répondre de moins en moins souvent et de moins en moins correctement lorsque le temps de conduite augmente.

## Discussion

La revue de ces travaux montre au niveau des paramètres étudiés peu de concordance et même parfois des tendances contraires, sauf en ce qui concerne la variation des mouvements du volant.

Peut-être doit-on chercher la source de cette difficulté dans le rapprochement même des notions de fatigue et de conduite. La fatigue est un terme pratique pour exprimer un état général d'agression de l'organisme. Mais on se heurte à une difficulté majeure qui est le manque d'une définition reprenant les composantes, à la fois exogènes et endogènes, d'une dégradation fonctionnelle.

Scherrer (1962), prenant en compte ces réserves, voudrait s'en tenir à la définition habituelle où «la fatigue est représentée par la baisse d'une activité donnée consécutive à cette activité même et réversible par le repos». Mais il émet deux limites importantes en termes de sécurité :

- «toute diminution d'activité n'est pas nécessairement une fatigue», et
- «on peut avoir un phénomène de fatigue survenant avant que n'apparaisse une diminution d'activité».

La fatigue a des origines multiples et l'on peut, en ce qui concerne la conduite, préciser au moins deux grandes catégories de symptômes : ceux qui sont dus à la réalisation prolongée de la conduite elle-même et ceux qui, issus de toutes sortes d'autres activités, ont une répercussion sur la conduite (Crawford, 1961).

La fatigue a des conséquences diverses et si l'on voit certaines conséquences globales (test avant-après), il paraît difficile d'isoler des constantes et encore plus de leur conférer une place par rapport à la tâche de conduite.

Dans ces conditions, on comprend que depuis les années 1960 les chercheurs aient délaissé cette notion complexe et mal définie pour s'attacher à des domaines dont on peut penser que, pour partie, ils sont en relation avec la fatigue. Par une multiplicité de termes, essentiellement en ergonomie, les chercheurs ont tenté d'élucider les composantes de ces états d'agression qui, après un certain temps, trouvent un écho sur la performance.

### 3 - La charge mentale lors de la conduite

#### a) La charge mentale

Toute activité comporte un versant physique qui est la **charge de travail**, représentant la somme des coûts des différentes manœuvres effectuées, c'est-à-dire très globalement la performance. La charge de travail peut être approchée par différents types de tests puisque l'on peut mesurer, soit les effets sur l'organisme d'une tâche, ou bien la variation de la performance lorsque cette tâche se prolonge. La même tâche, outre une charge physique, compte une activité ou au moins un versant mental, en ce sens que s'exercent des fonctions de type intellectuel diverses. Pour définir cette partie mentale avec Sperandio (1972), on pourrait dire que l'on entend par là une «activité essentiellement non musculaire». Les relations entre ces deux parties de la tâche sont complexes car il est certain que pour résoudre des problèmes de surcharge physique, l'opérateur réagit par un changement de stratégie et qu'alors la tâche est changée qualitativement.

On peut penser que la charge de travail est étroitement liée à la charge mentale lors d'une activité donnée. Pour Sperandio (1972) on doit, avec la plupart des auteurs, considérer qu'il y a «une réserve» potentielle de travail plus ou moins utilisée selon la nature de la tâche et les conditions d'exercice de celle-ci, etc., et évidemment sujette aux différences interindividuelles.

#### b) La charge mentale et la fatigue

Cette notion de charge mentale, dépendante de celle de durée, est à rapprocher de celle de fatigue bien qu'elles aient des statuts différents. Les phénomènes de charge sont cumulatifs, aussi un travail à faible charge physique peut-il tardivement évoquer les symptômes généraux de la fatigue. Les états de surcharge mentale sont susceptibles d'accélérer l'apparition de la fatigue parce qu'ils supposent de l'opérateur de continus changements de stratégie pour répondre à la demande de la tâche.

**La mesure de la charge mentale peut être une indication du degré de mobilisation requis par la tâche et l'on a souvent utilisé le schéma du «canal unique» pour rendre compte de la notion de capacité de réserve ; car lorsque deux tâches doivent être effectuées concurremment, on**

suppose que la capacité globale du sujet étant à peu près constante, l'effet de la durée sera de rendre plus difficile l'activité à une tâche ajoutée, donc de diminuer la part disponible de l'opérateur hors de son activité principale.

#### c) La performance à une tâche subsidiaire

A la place de variations de performance qu'il est difficile, on l'a vu, de mettre en évidence par les méthodes classiques parce qu'elles apparaissent mal, les erreurs à une tâche subsidiaire pourraient intervenir comme une variable indépendante. Ainsi Brown et Poulton (1961) observent, au cours d'une épreuve de conduite en ville dans des conditions de trafic variées, huit conducteurs expérimentés sur deux trajets de 2,2 miles. La tâche subsidiaire consiste en une addition dont les termes sont présentés oralement par l'expérimentateur au sujet qui doit indiquer la valeur de la somme. Les résultats montrent que c'est dans les conditions du trafic le plus dense qu'on observe le plus grand nombre d'erreurs à la tâche ajoutée. Les auteurs observent une plus grande fréquence des mouvements du volant en ville et déduisent de ces deux types de résultats que la conduite en ville est une situation plus difficile et peut affecter l'état du conducteur comme sa fatigabilité.

Dans une expérience ultérieure, Brown, Tickner et Simmonds (1966) étudient les effets de la conduite de longue durée sur différentes variables de la conduite et sur une tâche subsidiaire. Six sujets ont été testés, six fois deux jours de suite, au cours de trajets en ville : le jour d'expérience, les sujets conduisent entre les tests, le deuxième jour ils font leur travail habituel. Au total, le jour d'expérience ils conduisent plus de douze heures. Pendant la conduite, la tâche ajoutée consiste à donner des noms de mois de l'année et à diversifier les réponses autant que possible. Des variables motrices sont recueillies : actions sur le frein, l'accélérateur, le volant. L'hypothèse est que le temps de conduite s'allongeant, la réponse motrice du conducteur, la tâche primaire sera de plus en plus automatisée, réduisant sa tâche perceptive.

Comme on sait que les réponses au hasard sont peu corrélées avec la charge perceptive, ces résultats devraient augmenter en fonction du temps total de conduite. On n'a pas observé de variations caractéristiques dans la performance de conduite ni à la tâche subsidiaire.

Brown (1967) constate que l'activité de base de conduite est, même lors de longs trajets, maintenue à un degré d'habileté constant. Le conducteur évite les fautes car il dispose d'un catalogue de réponses de réserve. «Si la fatigue de conduite réduit les performances, l'habileté initiale ne peut être ainsi conservée qu'au prix d'un effort accru qui se manifeste par une baisse de la capacité de réserve».

Au cours d'une autre étude (1967), Brown et coll. utilisent sur route une tâche de vigilance consistant en une détection de signaux peu fréquents. Le temps de latence est utilisé comme mesure de la performance. La seconde tâche subsidiaire consiste pour le sujet à produire un son à intervalles réguliers à un rythme d'environ 72 par

minute. Les auteurs ne trouvent pas de résultats précis mettant en relation la durée de conduite et la variation d'une des activités. Ils observent cependant une augmentation de la performance à la tâche de vigilance avec le temps et déduisent que probablement le niveau d'activité physiologique va contrarier les effets de la fatigue, ce qui revient à dire que l'on parle ici plus des variations de la vigilance que d'un état de fatigue.

Safford et Rockwell (1967) ne trouvent pas de changements dans l'appréciation par leurs sujets des altérations mécaniques du moteur.

Sussman et Morris (1970) trouvent de même que la performance à une tâche de vigilance subsidiaire ne diminue pas avec le temps.

Un résultat de Ellignstad et Heimstra (1970) montre que la performance à un temps de réaction et à des tâches de vigilance augmente avec le temps.

Pour mettre en évidence une éventuelle altération de la tâche de conduite, Lisper (1966) montre que le temps de réaction augmente en fonction du temps de conduite. Possédant cet «indicateur de fatigue», Lisper et coll. (1971) testent d'autres effets favorisant l'apparition de la fatigue comme la privation de sommeil. Il constate que des conducteurs privés d'une nuit de sommeil ne montrent pas de modifications de temps de réaction sur des épreuves de 300 kms de conduite. L'augmentation des temps de réaction n'est pas différente de la condition sans privation, les scores présentant toutefois des différences jour-nuit.

Ces résultats soulignent peut-être qu'il a été abusivement question de fatigue, alors que c'est de la charge mentale qu'il aurait fallu parler, bien que les deux notions se recoupent parfois. Michaut (1968) donne la priorité à la tâche ajoutée, à rythme imposé, et étudie l'incidence de cette contrainte sur la tâche secondaire qui est alors la tâche de conduite. L'auteur met au point un indice de charge mentale d'après la technique de Michon (1964), la tâche secondaire de conduite étant effectuée à rythme libre alors que le conducteur doit émettre verbalement des «tops» au moyen d'un laryngophone.

Outre que la technique différencie bien les niveaux d'apprentissage des conducteurs, il apparaîtrait selon l'auteur que la conduite dans Paris ne demande pas au conducteur entraîné une charge mentale supérieure à celle requise par des calculs simples. L'auteur indique qu'«en moyenne, conduire dans Paris mobilise une faible partie de la capacité mentale disponible pour des conducteurs entraînés». Ce résultat extrêmement global est soumis à toutes les variations d'ordre interindividuel et intra-individuel. Cette étude, d'ailleurs centrée sur les processus d'apprentissage, mène à des conclusions en termes de **niveaux globaux de charge mentale** résultant de différences dans la stratégie de prise d'information entre les groupes de conducteurs. L'indice de charge mentale tient en général peu compte des variations de la tâche.

Ceci revient à dire que dans l'étude de phénomènes aussi labiles que ceux de la fatigue, la notion de canal unique, utile au niveau de l'analyse, est sujette à critique au niveau du vécu expérimental. Par ailleurs, on peut se demander s'il n'y a pas une motivation inhérente à la tâche ajoutée telle qu'elle modifie la tâche primaire dans sa nature même. L'inférence, ou les combinaisons entre les tâches, au niveau des processus psychologiques mis en jeu posent d'importants problèmes, surtout lorsqu'on étudie les variations de la disponibilité à la tâche où tous les problèmes d'attitude et de motivation peuvent intervenir. Kalsbeek (1965) parle d'ailleurs de la capacité mentale résiduelle que «l'opérateur est disposé à libérer».

La tâche ajoutée et — on le verra plus tard, avec un moindre effet — les dispositifs de mesure imposés au conducteur ou disposés sur lui, modifient sa tâche de sorte qu'ils peuvent donner lieu à un changement qualitatif de la relation homme/véhicule ; et l'on ne peut savoir si cette distorsion est compensée par le fait que l'étude est pratiquée dans une situation très proche de la conduite réelle. On peut donc penser que la technique de double tâche, qui semble être un indicateur de charge mentale de l'opérateur, sera utilisée à profit dans le cadre plus restreint d'un problème tel que l'apprentissage. Dans le cas des phénomènes de fatigue, son utilisation pourrait conduire à des comparaisons abusives : c'est ainsi que l'on a pu dire que la tâche de conduite ne requiert pas une charge plus importante qu'une tâche de bureau simple.

#### 4 - Les variations physiologiques pendant de longs trajets

Depuis le début du siècle, les chercheurs ont utilisé des méthodes propres à déterminer le coût physiologique d'un travail. Il peut s'agir de mesurer l'activité d'un muscle ou la répercussion d'une charge de travail à un niveau plus global. On ne mesurera plus seulement les variations de l'activité musculaire locale mais la dépense énergétique de cette activité qui peut être évaluée indirectement en calculant, par exemple, le coût cardiaque. Cette étude rend compte des agressions diverses auxquelles l'opérateur est soumis.

Les processus sont semblables au niveau des différents systèmes organiques car les fatigues sensorielles et nerveuses, au même titre que la fatigue musculaire, trouvent un écho au niveau de l'ensemble de l'organisme qui est affecté lors de l'agression d'une de ses parties.

On peut donc envisager plusieurs types d'approches du phénomène de fatigue lorsqu'on veut étudier les variations physiologiques qui l'accompagnent. D'une part, on peut s'interroger sur l'effet ponctuel des agressions diverses subies par l'organisme, susceptibles de donner lieu, à plus ou moins long terme, à l'apparition des symptômes de fatigue. Ainsi, l'on étudiera les divers types de réponses aux atteintes subies par le conducteur et, de cette évaluation des divers stress, on pourrait déduire le «coût émotif» de l'activité de conduite. D'autre part, il convient de tenir compte de l'effet de la

durée de la tâche de conduite et dans ce cas on étudiera cette variable pendant des trajets prolongés, c'est ce que l'on pourra appeler le «coût physiologique» de la conduite. Celui-ci peut s'exprimer par la dépense physique ou bien par la variation d'éléments biochimiques dont le travail modifie la composition au cours du temps.

#### a) Le stress et la conduite

On pourrait, à la suite de Selye (1936), assimiler le stress à l'état global de l'organisme lorsqu'il est soumis à différents agents agresseurs comme la douleur ou des agents physiques comme le chaud, le froid, etc.

Il en résulte pour l'opérateur une impression de tension et de contrainte dont on a démontré la relation, par effet cumulatif, avec l'apparition de la fatigue.

L'événement générateur de stress, que ce soit une manœuvre d'évitement ou tout simplement un dépassement ou un virage, ne peut avoir à lui seul de conséquences, du moins en termes de fatigue. Mais sa répétition, son apparition chez un conducteur déjà fatigué, en fin de journée par exemple, peuvent avoir des conséquences telles qu'une stimulation faible provoque une réponse dont l'intensité est sans relation apparente avec la cause. On peut, au contraire, observer une accoutumance à l'agression telle que le conducteur n'aura plus ou très peu de réaction à la stimulation.

L'étude des effets ponctuels d'agressions de toutes sortes sur le conducteur sera intéressante pour éclairer le problème plus général de la fatigue du conducteur. Pour Crawford (1961), les facteurs conflictuels interpersonnels sont déjà des sources importantes de stress lors de la conduite ; l'ensemble des facteurs interagissants peut créer les conditions favorables à l'apparition du syndrome de fatigue chronique.

Heimstra (1970) tente de mettre en évidence, sur simulateur, le caractère inhérent du stress lors de la conduite. Une tâche de pistage est considérée comme la tâche primaire, le sujet devant aussi accomplir des tâches de maintien de vitesse, des temps de réaction et deux tâches de vigilance. L'auteur vérifie son hypothèse en montrant la détérioration des performances aux tâches secondaires après deux heures d'épreuve. De plus, il constate expérimentalement l'existence de deux phases suggérées par Crawford : dans un premier temps, les événements stressants agissent comme autant de stimulations, alors qu'ensuite le sujet répondra de plus en plus faiblement à des stimulations de plus en plus intenses. Toutefois, il émet des réserves quant à la généralisation des résultats à la conduite réelle ; on conçoit que sur route, le stress revêt des caractéristiques de nature et de forme très différentes.

Hulbert (1957) étudie, à l'aide de la technique de réponse psychogalvanique, l'effet ponctuel des événements du parcours sur le conducteur. Il parvient à mettre en relation des groupes de réponses avec des sections de trajets parcourus. A l'aide de cette technique qui paraît bien adaptée à la recherche d'effets ponctuels, Michaels (1962) met en évidence deux types de trajets caractérisés par un trafic différent.

Hoffman et coll. (1962), étudiant les variations cardio-vasculaires de 967 conducteurs sur des parcours de 70 kms, montrent que, dans 82,87 % des cas, le seul fait de prendre le volant augmente la fréquence cardiaque. Ils observent des accroissements allant jusqu'à 50 % du rythme de départ lors des situations critiques d'une conduite en ville. Comme Michaut, ils observent une grande labilité de la variable cardiaque. Comme Preuschen, ils observent chez les conducteurs expérimentés une accélération du pouls moins importante que chez les nouveaux conducteurs. Hoffmann indique que les différents stress auxquels sont soumis les conducteurs et les troubles circulatoires qui y sont liés dépendent plus de l'évaluation subjective du risque que du danger réel objectif.

Preuschen (1963), à l'aide de l'indicateur cardiaque, met l'accent sur l'effet des différents événements du parcours sur le rythme cardiaque et les conséquences nécessairement néfastes de ces agressions lors de longs trajets.

Au cours d'une étude (non publiée, 1963) Michaut, sur un parcours routier libre d'environ 600 kms, tente de mettre en relation les événements du parcours et différentes variables. Les passages dans les agglomérations ou certains accidents critiques sont liés à des évolutions caractéristiques des fréquences cardiaques et respiratoires. L'auteur ne peut toutefois pas analyser plus finement les effets du parcours sur le conducteur, celui-ci effectuant le trajet seul.

Rutley et coll. (1972) font une tentative semblable et réalisent un graphe qui fait correspondre les accroissements de la fréquence cardiaque et les événements du parcours. Ils constatent que fréquemment cet accroissement est lié à des situations où les informations visuelles proposées au conducteur l'amènent à entreprendre une manœuvre. Toutefois, les auteurs notent que sans doute une bonne part de la variation cardiaque est liée au travail physique suivant la décision. Cependant, ils montrent qu'un accroissement cardiaque important se produit sur une rampe d'accès à l'autoroute alors que la charge physique est très faible.

Kondo (1961) met en évidence des différences entre plusieurs types de parcours routiers en évaluant le retentissement des événements du trajet sur l'état émotif des conducteurs, évalué en termes de fréquence cardiaque, respiratoire et de réponse électrodermale.

Depuis 1965, Taggart et coll. (1967) ont mis en relation des accroissements cardiaques et des moments de la conduite (freinage, accélération, dépassement, etc.). Mezzasalma et coll. (1969) enregistrent par un système téléométrique les réactions cardiaques de pilotes de course sur des circuits expérimentaux. Aux endroits critiques du circuit, ils enregistrent une augmentation de la fréquence cardiaque par rapport aux conditions de référence.

Des modifications de l'appareil cardio-vasculaire des conducteurs apparaissent lors du passage de chicanes disposées sur le circuit. Ce résultat rejoint celui de Stikar et coll. (1971) qui mettent en évidence des différences entre des conducteurs expérimentés et novices au niveau

de la réaction cardiaque observée lors d'un dérapage. Il semble bien que la variable cardiaque soit un bon indicateur du retentissement des événements de la conduite sur le conducteur, qu'il s'agisse d'un changement de trafic, de trajectoire ou même de manœuvres (mise en route, freinage, accélération).

A l'aide de la technique de réponse électrodermale, Hulbert (1957) montre la relation existant entre la fréquence des réponses psychogalvaniques et les réactions du conducteur aux événements de la circulation : dans 91 % des cas observés, la réponse électrodermale est associée à un stimulus extérieur.

Michaels (1960) parvient à différencier deux parcours urbains puis, dans une expérience ultérieure, il montre qu'un tracé autoroutier simple élimine une grande partie des conflits pour le conducteur. Des résultats en termes de relation environnement/conducteur sont obtenus par Cleveland et Franklin (1961) qui étudient l'effet de l'éclairage ou non éclairage d'une intersection et observent des différences significatives entre ces deux situations en ce qui concerne l'amplitude et la fréquence des réponses électrodermales qu'elles provoquent chez les sujets.

Preston (1969), utilisant la même technique, montre que la tâche de conduite est plus coûteuse « nerveusement » pour un groupe de conducteurs non expérimentés que pour des conducteurs expérimentés. Situés dans le cadre d'un travail sur les taux comparés d'accidents, ces résultats suggèrent l'intérêt de l'analyse des événements unitaires de la conduite.

#### b) *Le coût physiologique de la conduite*

Dans le domaine ergonomique, des techniques ont été mises au point pour préciser, lors de l'activité même, l'état de l'opérateur en termes de coût physiologique exprimé par les variations de la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la consommation d'oxygène. Pour des raisons techniques, cette dernière méthode donne un pourcentage d'erreurs non négligeable en situation réelle de travail comme dans un véhicule ; aussi préfère-t-on souvent analyser les variations de la fréquence cardiaque lors de la conduite.

Michaut (1964), au cours de l'expérience citée plus haut, ne parvient pas à déduire des éléments précis concernant les effets spécifiques de la durée de conduite sur la fréquence cardiaque : « l'environnement » routier sur parcours libre est particulièrement complexe et, compte tenu des limites d'enregistrement, ne peut être étudié sans risque d'erreur au niveau de l'interprétation des données. Cet auteur choisit alors de privilégier le facteur facilitant l'apparition des symptômes de fatigue, à savoir la monotonie du parcours, et il expérimente sur un circuit elliptique à vitesse constante et modérée.

Au cours de cette étude, Michaut et Pottier (1964) étudient onze conducteurs pendant des trajets de trois heures sur circuit. En même temps que la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire, diverses variables comportementales sont enregistrées : mouvements de

l'accélérateur, emploi des indicateurs de direction, vitesse du véhicule. Les auteurs observent une décroissance des valeurs des variables physiologiques périphériques en même temps qu'une détérioration au niveau des différentes manœuvres effectuées par les sujets.

Au cours d'une investigation de type clinique, Burns et coll. (1966) constatent, sur quelques sujets, des modifications de l'onde « T » après quatre heures de conduite dans le sens d'une diminution d'amplitude qui peut atteindre la moitié de la déflexion observée en début d'épreuve.

#### c) *Les variations biochimiques au cours de la conduite*

Plusieurs auteurs ont cherché dans les modifications biochimiques, notamment du sang et des urines, l'origine des états menant à l'apparition de la fatigue du conducteur.

Ainsi Hulbert et coll. (1963 et 1965) rapportent les effets de la fatigue sur le taux de sucre sanguin au cours d'une expérience de simulation de conduite de longue durée.

Barni et coll. (1964) ont étudié les variations du taux de lipides, phospholipides et cholestérol total dans le sang chez vingt conducteurs professionnels. Les contrôles sont effectués immédiatement après des trajets de huit heures, puis huit heures après l'arrêt de la conduite. Les auteurs constatent une augmentation des lipides totaux et du cholestérol mais une diminution des phospholipides. Blavin (1970) qui cite ce travail déduit que ces conducteurs sont alors dans les conditions parfaites de constitution de l'athérome par suite de l'hyperlipémie, de l'hypercholestérolémie et de l'augmentation du rapport cholestérol/phospholipides.

Tadataka Fukui et coll. (1963), dans une optique un peu différente, étudient des conducteurs au cours de trajets durant toute la nuit et analysent les produits ingérés en les comparant aux éléments pris lors d'un parcours de jour ; les protéines représentant à elles seules une augmentation de 30 % la nuit, les graisses sont aussi consommées en quantité supérieure la nuit. Ces auteurs étudient l'effet d'un « antifatigue » et constatent des effets sur la fréquence des clignements palpébraux et sur les autres variables de performance.

La réalisation et l'interprétation des travaux faisant intervenir des dosages biochimiques sont particulièrement délicates. Comme l'indique Duker-Dobos (1971) dans une revue critique, des éléments tels que le rythme circadien, l'ingestion d'aliments et de liquides, le volume de l'urine peuvent, s'ils ne sont pas parfaitement contrôlés, avoir une influence sur l'excrétion d'une quelconque substance.

## 5 - Etude de l'effet de facteurs particuliers sur la fatigue du conducteur

Les statistiques d'accidents montrent la constance de certains facteurs dans l'apparition des accidents liés à la fatigue. Ainsi, pour le conducteur de véhicule léger, les départs en vacances par exemple et chez les conducteurs professionnels de manière plus régulière, la conduite s'effectue dans des conditions qui perturbent le rythme nyctéméral normal. Aussi certains chercheurs ont-ils expérimenté l'effet de différentes périodes de dette de sommeil sur la fatigue exprimée par divers indicateurs.

Il est possible aussi d'observer l'effet de pauses sur la performance de conduite et évaluer la récupération qu'elles apportent. On a aussi tenté d'évaluer l'effet de divers facteurs au cours même de la conduite. Ainsi on a observé la performance du conducteur lors de longs trajets avec et sans musique ou bien lorsque le taux de gaz carbonique augmente dans l'habitacle, si l'on fume dans le véhicule.

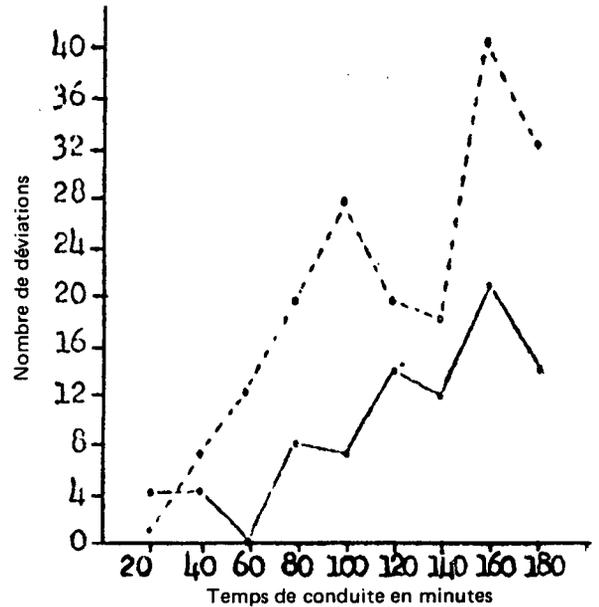


Fig. 2 - Comparaison entre le nombre de déviations (drifts) observées chez des sujets ayant subi une privation de sommeil (---) et des conducteurs n'ayant pas été privés de sommeil (—) (d'après Forbes et coll. 1957).

### a) L'effet de la privation de sommeil

Forbes et coll. (1957) demandent à quatorze sujets privés de sommeil (entre 24 et 36 heures) d'effectuer un parcours de cinq heures sur autoroute. L'observation systématique de ces conducteurs montre que quatre sur cinq ayant subi la privation la plus sévère s'endorment au volant. On voit des différences significatives entre la conduite à l'état normal et en état de dette de sommeil. Les effets de la privation sont sensibles au niveau de variables physiques (voir fig. 2) mais aussi au niveau de variables physiologiques comme les clignements des yeux (voir fig. 3).

Hulbert et coll. (1965) rapportent qu'après une privation de sommeil de 24 heures, ils constatent une détérioration de la performance en même temps que des modifications biochimiques chez les sujets.

Kaluger et Smith (1970) étudient les points de fixation oculaires de conducteurs privés de sommeil depuis 24 heures au cours de trajets de trois heures. Ils observent des différences avec un groupe de conducteurs non privés de sommeil. Les données sont recueillies à l'aide de l'«eye-marker» caméra qui permet d'étudier à la fois l'évolution d'un spot reflété sur la cornée et la scène vue par le conducteur.

L'activité oculaire en vision centrale semble plus importante lorsque le conducteur est privé de sommeil : la fatigue a pour conséquence de diminuer l'activité de la région périphérique et le sujet doit utiliser plus souvent la vision fovéale. On observe en conséquence un comportement qui pourrait être dit «à l'économie» mis aussi en évidence par les variables motrices.

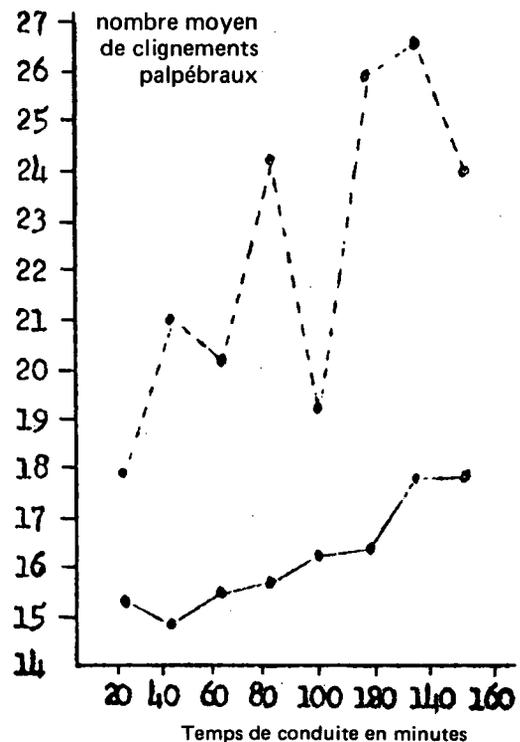


Fig. 3 - Comparaison entre le nombre de clignements palpébraux observés sur deux groupes de conducteurs : privés de sommeil (---) et non privés (—) (d'après Forbes et coll. 1957).

Duggar et coll. (1965) étudient sur simulateur des effets plus fins de la perturbation du rythme veille/sommeil. Ils testent des sujets durant quatre heures en commençant deux heures avant leur heure normale de coucher. Les variables physiologiques (fréquence cardiaque, fréquence des clignements palpébraux et fréquence des réponses électrodermales) ne donnent pas de différences significatives. Mais les meilleurs sujets à des épreuves de vigillances sont aussi bien différenciés des plus mauvais au niveau des paramètres moteurs de cette épreuve. p. 24.

Ces travaux donnent une image des effets de la dette de sommeil sur le conducteur lorsque celle-ci est massive et approche vingt-quatre heures. Ces indications toutefois manquent de certitude statistique et par ailleurs de souplesse dans la combinatoire des différents délais de dette de sommeil. La lourdeur de telles expérimentations limite «per se» de telles tentatives qui, par ailleurs, devraient se multiplier indéfiniment pour apporter des réponses précises et surtout se fonder sur des hypothèses un peu plus précises.

#### b) *L'effet des pauses*

Lauer et Suhr (1959) ont étudié l'effet de pauses au cours desquelles le conducteur ingère une boisson. De leurs expériences sur simulateur, ces auteurs concluent que les pauses ont un effet dans le sens où elles éloignent dans le temps la diminution de la performance.

Souvent étudiée lors de situation industrielles (notamment par Murrell), l'organisation des pauses reste un problème expérimental car, comme pour les drogues ou l'alcool, la combinatoire des facteurs mis en jeu est particulièrement importante et rend l'expérimentation lourde et nécessairement incomplète.

#### c) *L'effet de la musique et de la parole sur l'état du conducteur*

L'autoradio tend à se généraliser et l'on peut se demander si son utilisation a un effet sur l'état de vigilance des conducteurs.

Tarrière et coll. (1962) observent, au cours d'une tâche simulant la conduite monotone, un effet particulier de la musique sur le conducteur, les messages parlés significatifs étant les plus efficaces.

Brown (1965) recherche les effets de la musique et des paroles des programmes de radio sur la performance (nombre d'accélération, de coups de frein, d'embrayage, de mouvements du volant, etc.). Il a trouvé peu de résultats significatifs. Dans un fort trafic, la musique a pour conséquence d'allonger le temps du trajet. De plus, en trafic normal une musique légère réduit le nombre de débrayages et de coups d'accélérateur. Utilisant le «drivometer» de Greenshields, Konz et coll. (1968) mettent en évidence globalement un effet de la musique sur le comportement du conducteur. La fréquence des coups de frein ne varie pas d'une condition à l'autre. En insistant sur le fait qu'il est difficile d'attribuer les modifications observées à des améliorations ou diminutions de la performance, les auteurs, en s'aidant des résultats d'un questionnaire, pensent que la musique la plus violente a les effets les plus défavorables.

#### d) *L'effet de l'appauvrissement de l'air dans l'habitacle*

Il ne semble pas que les fumeurs habituels aient des performances plus dégradées lors de longues épreuves que des non fumeurs (Harteman et coll. 1965).

Ashton et coll. (1972) étudient aussi deux groupes de fumeurs et de non fumeurs et montrent des temps de réaction peu différents. Comme on pouvait s'y attendre, le niveau de fréquence cardiaque est constamment plus élevé chez les fumeurs. Les épreuves motrices, notamment si l'on fait varier la complexité de la tâche, sembleraient suggérer de meilleures performances chez les fumeurs, sans que cette tendance soit nette.

De manière plus générale, Horvath et coll. (1971) montrent que l'appauvrissement de l'atmosphère dans l'habitacle par l'apport de différentes concentrations de gaz carbonique n'entraîne de réaction à une tâche de vigilance visuelle (après deux heures de station assise) que pour des doses maximales.

Il semble bien que l'idée essentielle est celle d'un équilibre à maintenir : le fumeur privé de cigarettes aura des réactions moins sûres (Harteman) puisqu'il sera alors en état de besoin comparable au besoin de nourriture, de repos, etc.

## II – VIGILANCE ET CONDUITE

Une revue de la littérature a montré les apports et les limites de différentes approches du problème de la fatigue appliqué à la conduite.

Les investigations de type subjectif ont mis l'accent sur l'importance des études dans ce domaine car elles montrent la mauvaise appréciation par les conducteurs des signes d'apparition de leur fatigue. Par ailleurs, l'évaluation objective des comportements indique une dégradation, soit de l'activité globale (Herbert et coll., Mc Farland et coll.) lorsque la durée de conduite s'allonge, soit de fonctions bien précises comme la poursuite de la trajectoire ou le contrôle de la vitesse (Greenshields, Safford et coll. - Michaut et coll.).

De manière globale, toujours l'on montre (Tickner et coll.) que la performance lors de manœuvres complexes est altérée lorsque l'épreuve dure plusieurs heures ; ces constatations ont une portée générale intéressante, mais si les tendances des résultats sont similaires, elles ne sont pas toujours décisives sauf dans le cas des mouvements du volant où la diminution accentuée est mise en évidence par plusieurs études auteurs.

Il faut peut-être chercher dans la nature même de la tâche l'échec partiel de ces tentatives. La conduite est une activité certes complexe mais qui, après l'apprentissage, revient à un registre plus grand d'automatismes de sorte que, sous certaines sollicitations externes (conversation avec le passager, etc.) ou internes (fatigue, préoccupations familiales, etc.), le conducteur déficient peut donner les apparences d'une conduite correcte puisqu'aucune de ses performances n'est perturbée. Ainsi, des conducteurs professionnels affirment traverser parfois des villes entières sans les avoir «vues» et sans qu'aucun signe moteur ne les ait alertés sur leur baisse d'efficacité !

Les études concernant la charge mentale citées plus haut ont montré que certaines situations de conduite ont un «poids», représentent des charges de travail différentes, et ces résultats sont à rapprocher des études par Taylor et Preston qui, à l'aide de descripteurs physiologiques, mettent en évidence ces mêmes différences alors que les variables de performance ne diffèrent pas.

**Ces résultats suggèrent l'utilité d'une intervention expérimentale permettant d'évaluer une dimension plus globale du comportement relative à l'adaptation du conducteur à la demande de sa tâche et que caractérisera la notion de vigilance.**

Devant les insuffisances des critères portant sur l'activité visible ou sur les opinions des opérateurs, les critères physiologiques d'appréciation des états de vigilance ont été utilisés depuis longtemps et semblent particulièrement

adaptés à une tâche à activité motrice peu importante comme la conduite. Par ailleurs les études concernant les dégradations de performance montrent des dégradations tardives dont il est utile de préciser les prémices et de **définir ainsi les signes précoces de la dégradation du comportement.** Les études sur la charge mentale et le stress ont montré, outre la durée de la conduite, l'importance de l'environnement routier et de la circulation et, dans ce sens, on conçoit que des questions portant sur un nombre d'heures de conduite engendrant la fatigue, etc. ne peuvent recevoir de réponse générale car il s'agira plutôt de préciser certaines constantes des états auxquels le conducteur est soumis lorsque, pour des raisons diverses parmi lesquelles la fatigue, sa vigilance tend à diminuer.

Ceci revient à dire que c'est plutôt à la variation des états de vigilance du conducteur que l'on s'intéresse qu'à des valeurs-seuils peu réalistes dans l'étude d'une tâche comme la conduite où la combinatoire des facteurs psychologique, social et physiologique ne peut dégager de principe explicatif unique. «La partie la plus intéressante de l'évaluation physiologique de la charge mentale est précisément celle qui porte sur ces deux zones où la performance se maintient mais où la sémiologie physiologique laisse penser que la situation n'est pas stable» (Wisner, 1970).

La relation entre certains états physiologiques que l'on peut caractériser et la capacité de performance est importante dans la sécurité routière où elle pourrait constituer un modèle explicatif. L'intérêt d'une approche de ce type n'est pas seulement spéculatif, les résultats à attendre s'expriment non plus en termes de valeur-seuil mais en termes d'équilibre d'un système dont toutes les composantes sont à considérer.

On fera appel à la notion d'état de vigilance du système nerveux central reflétant un niveau de fonctionnement qui, suivant différents facteurs exogènes et endogènes évolue sur un continuum entre la veille et le sommeil.

### 1- La vigilance et la fatigue

Une quelconque fatigue d'origine périphérique va nécessiter l'accroissement du nombre des influx de commande, ce qui va provoquer à son tour, à terme, l'épuisement des centres. Dans ce phénomène d'«effort» (Scherrer) intervient l'action des formations réticulaires du tronc cérébral sous des influences neurohumorales. Cette **activation** paraît être responsable, entre autres effets, de la diffusion des contractions musculaires à d'autres territoires qui n'étaient pas intéressés primitivement, ainsi que des réactions végétatives en rapport avec l'effort, comme par exemple les variations circulatoires.

La relation de ces manifestations musculaires diverses au syndrome général de fatigue est expliquée de la façon suivante par Pottier (1966) : « Pendant l'épreuve de travail, le niveau d'activité musculaire reste proportionné à la charge de travail. Pour poursuivre l'effort jusqu'à la fin de l'épreuve malgré l'installation de la fatigue musculaire locale, on peut supposer que des modifications se produisent au niveau du système nerveux central mais ce processus de contrôle se trouve dépassé lorsque est atteint le seuil d'épuisement local ».

Ainsi, les sensations de lassitude et de fatigue consécutives à des travaux physiques, les diminutions d'efficacité, peuvent-elles s'inscrire dans le schéma explicatif des phénomènes de vigilance dans lesquels d'ailleurs interviennent des messages d'origines diverses.

L'évaluation des niveaux d'éveil du système nerveux permet d'observer la répercussion d'un travail sur l'homme au degré le plus élevé. Cette démarche a l'avantage de saisir à leur stade le plus précoce l'effet des détériorations consécutives à la tâche sur l'opérateur, c'est-à-dire avant que le processus moteur soit affecté. Cet argument est particulièrement valable dans le cas de la conduite automobile car les résultats concernant la performance en termes de manipulation du véhicule sont tardivement ou peu affectés, même lors de trajets longs et pénibles. La conduite devient une activité de type semi-automatique, sous-tendant un registre défini d'opérations. A l'événement fortuit, le conducteur peut alors mal répondre car son niveau de vigilance est bas.

Il sera donc important de connaître les circonstances dans lesquelles apparaissent et se poursuivent ces états de basse vigilance. L'étude abordera, non plus l'opérateur seul et les causes de la fatigue qui, on l'a vu, peuvent être très variées mais plutôt la relation opérateur-tâche, déterminant les mécanismes de détérioration de la tâche.

Les phénomènes de fatigue et de vigilance sont en étroite relation puisqu'ils sont sous la dépendance de structures régulatrices communes. Pour schématiser leurs rapports, on pourrait les assimiler à deux ensembles qui seraient toujours de façon dynamique, dans certains états, plus ou moins en intersection et qui, dans d'autres états comme le sommeil, se recouvriraient complètement.

Ainsi pour l'étude de ces phénomènes, s'il est « puéril de tenter de réduire l'extraordinaire complexité des relations entre l'homme et la machine à une pure phénoménologie » (Wisner 1971), il paraît difficile de négliger des indices de détection qui, s'ils sont encore entachés d'imperfection, n'en fournissent pas moins une aide précieuse et efficace.

## 2 - La vigilance

La notion de niveau d'éveil a été introduite par le physiologiste Head en 1923. Cet auteur conçoit le système nerveux central comme le lieu d'une régulation générale du comportement : quand il y a un déficit partiel du système nerveux, il y a en quelque sorte une baisse de l'efficacité

nerveuse, une chute de voltage qui aurait pour conséquence une diminution de l'aptitude mentale spécifique, la vigilance nécessaire à des activités de haut niveau étant diminuée par la chute du potentiel nerveux. Cet auteur laisse volontairement une ambiguïté, définissant par ce terme de vigilance à la fois l'excitabilité d'un tissu et les conséquences qu'elle a sur le comportement : la vigilance s'exprime par un tonus postural élevé et des réponses hautement différenciées. Il pense que « plus la vigilance est élevée, plus l'activité différenciative est grande ».

Head compare le système nerveux à un dispositif intégrateur, comparateur : « un standard par rapport auquel ou avec lequel sont confrontés tous les changements nouveaux de la posture ».

Pour le psychologue, pendant longtemps le terme de vigilance a été étudié par rapport à celui d'attention. L'attention était considérée comme un état de focalisation impliquant à la fois une mobilisation de l'opérateur et une orientation de son activité, c'est-à-dire des composantes à la fois intensives qui pourraient s'exprimer en termes de niveau d'éveil et des composantes spécifiques faisant appel à des comportements exploratoires et sélectifs.

Leplat (1968), analysant l'évolution de ce concept, montre que pour Piéron (1934) et la plupart des psychologues, différents niveaux sont à envisager mais qu'à la fois il y a aussi « prédominance d'une activité sur les autres possibles au même moment ». En effet, traditionnellement on avait tendance à considérer l'attention comme une entité et non comme un état en évolution, ce qui explique vers 1940 la position de Mackworth. La vigilance est un état ou plutôt une série d'états alors que l'attention est une sélection. La vigilance est classiquement mise en relation curvilinéaire avec la performance et l'on peut penser que dans son état optimal elle favorise des états d'attention élevée. Les deux systèmes diffèrent toutefois dans les cas limites d'attention sélective.

Les deux tendances semblent actuellement évoluer parallèlement et l'on admet que le terme de vigilance correspond à une mobilisation énergétique, une activité nerveuse globale : les travaux effectués au cours des trente dernières années permettent d'approcher la réalité psychologique puis les bases physiologiques de ce qu'on appellera la vigilance.

Plus précisément, on sait actuellement que le système réticulaire activateur est excité par des afférences extéro, proprio et interoceptives par certains composants du milieu intérieur, notamment par les influences neurohormonales, et enfin par des messages corticogènes. L'influence de cette formation « s'étend à toutes les autres fonctions du système nerveux central, soit pour augmenter ou diminuer leurs niveaux d'activité, soit pour les relier ou les intégrer » (Magoun, 1960). Il faut donc admettre une corrélation entre les niveaux de comportement et l'activation nerveuse centrale. A un état d'activation faible, ou de vigilance basse, correspond le sommeil profond et, lorsque l'état d'activation augmente, on parvient à l'éveil (Loomis, 1937).

De manière générale, la découverte d'un système réticulaire activateur préparant et adaptant l'organisme à l'action forme une base neurologique qui se trouve «en relation avec les différents comportements dits de fatigue». Les interventions réticulaires sont modulées et déterminent des états différents répartis sur un continuum qui va du sommeil profond à la veille active ; ce rôle pour être essentiel n'est pas unique (cf. travaux de Jouvet). Ceci implique évidemment que la progression entre ces deux états extrêmes ne se fait pas régulièrement au cours de la journée à cause de divers facteurs, notamment le moment du nyctémère, la motivation de l'opérateur, les contraintes d'ordre psychologique, social, etc.

Aussi peut-on assimiler la vigilance au niveau d'activité du système nerveux central au moment où l'organisme doit répondre à une information quelconque ou la traiter.

Ainsi, plus que l'idée d'une direction du comportement, la notion de vigilance évoque-t-elle son intensité. Puisqu'entre la veille et le sommeil le fonctionnement du système nerveux central est à envisager dans une dynamique liée à toutes sortes de facteurs personnels, à la tâche, à l'environnement, on peut se demander si globalement à un environnement donné peut correspondre un niveau d'éveil comparable chez différents opérateurs. L'approche consistera donc à interroger la relation situation de conduite-état de vigilance du conducteur afin de définir les moments critiques de cette relation et d'envisager des moyens d'intervention en termes de sécurité.

### 3 - Le choix des indicateurs de la vigilance

Si l'électroencéphalogramme (EEG) apparaît comme l'indice privilégié de l'état d'activation du système nerveux central, d'autres indicateurs complémentaires seront destinés à fournir des informations périphériques; l'ensemble de ces données sera à envisager dans l'évolution parallèle des tendances et surtout leur éventuelle concordance. On considère en général que les variations des paramètres électrophysiologiques sont extrêmement labiles ; aussi, plus qu'à l'évolution de l'un deux, convient-il d'attacher une signification à l'évolution concomitante de divers indicateurs, révélant une tendance générale de l'organisme qu'il sera important pour les mêmes raisons de mettre en rapport avec l'évolution des critères comportementaux.

#### a) Les indicateurs électrocorticaux

Berger (1929) découvre la relation entre les états de veille et de sommeil et les modifications de l'activité électrique du cortex cérébral. Des progrès considérables ont été réalisés dans la connaissance des structures susceptibles de sous-tendre différents types de comportements. Citons entre autres en 1937 Jaspers et Rheinberger qui montrent sur l'animal que plusieurs sortes de stimulations sensorielles affectent le tracé électroencéphalographique. L'EEG spontané dans son ensemble, est un indicateur des différents états de vigilance et l'on a pu identifier un indice plus fin des états caractéristiques de la veille. Berger avait identifié une bande alpha de l'EEG

caractérisée par une fréquence et une amplitude particulières (8 à 12 hertz, 50 microvolts d'amplitude moyenne). Les ondes alpha, lorsqu'elles sont abondantes, correspondent à de faibles niveaux de vigilance ou à une attention relâchée. Lorsque le tracé est plus riche en ondes bêta (13 à 25 hertz, 10 microvolts en moyenne), les ondes alpha étant plus rares, l'état du sujet correspond à la veille plus active.

De plus, les ondes alpha peuvent être plus ou moins modifiées par des stimulations sensorielles mais elles sont aussi soumises à différents niveaux d'activité mentale. De nombreuses recherches menées en laboratoire montrent l'intérêt de l'utilisation de la bande alpha comme un indicateur du niveau de vigilance dans des situations de travail réelles.

Bujaz et Petz (1954) montrent l'évolution de l'activité alpha avec le temps au cours d'une activité mentale simple durant une heure.

Williams, Lubin et Goodnow (1959) constatent un enrichissement des tracés EEG en ondes alpha lors de tâches de longue durée. Malmö et Survillo (1960) mettent en relation la variation de l'activation nerveuse et la variation d'amplitude des ondes alpha. Haider (1966) montre que l'enrichissement de l'activité alpha de l'EEG lors d'une épreuve de surveillance prolongée, si elle est associée à une diminution de la fréquence cardiaque reflète une diminution globale de la vigilance de l'opérateur. Au cours d'épreuves simulant la conduite, Tarrière et coll. (1966) s'interrogent sur la validité de l'activité alpha de l'EEG comme critère d'efficacité à une tâche de vigilance et constatent, avec d'importantes différences entre les sujets, une étroite relation entre l'évolution de l'efficacité interprétée en pourcentage d'omissions de signaux présentés et l'évolution de la densité et de l'amplitude des ondes alpha, simultanément à d'autres indicateurs physiologiques (voir fig. 4). Les auteurs notent la variabilité importante de cet indicateur autour d'une tendance centrale et ils voient appa-

Suenaga, Goto et Suenaga (1967) rapportent qu'un groupe de conducteurs professionnels ayant eu des accidents tend à avoir un tracé riche en alpha.

Au cours d'une épreuve de conduite monotone sur simulateur, pendant laquelle les sujets doivent contrôler la trajectoire de leur «véhicule» et répondre à une tâche de vigilance, Sussman et Morris (1970) indiquent que la durée de l'expérimentation semble affecter chez l'ensemble des sujets le tracé de l'EEG occipital.

Récemment, la recherche aérospatiale a utilisé les tracés EEG comme des indicateurs de l'état de vigilance des cosmonautes (Walter et coll. 1965).

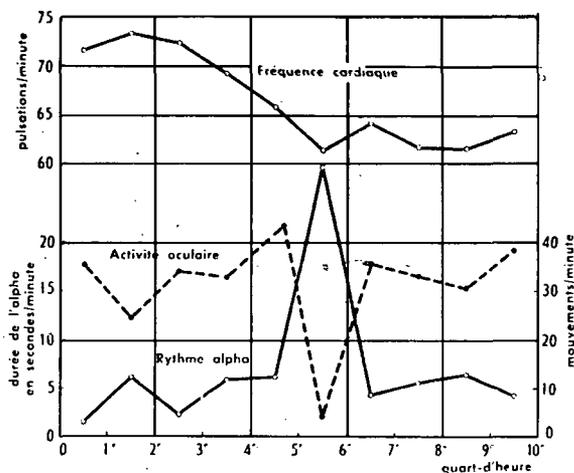


Fig. 4 - Exemple de fluctuations concomitantes des activités corticale, cardiaque et oculaire présentées par un sujet au cours d'une tâche de surveillance (d'après Tarrière et coll. 1966).

Le potentiel évoqué cortical est la réponse corticale provoquée par une stimulation (sonore, visuelle ou somesthésique) ; il a été établi par Haider et coll. (1964) que son amplitude varie en même temps que le niveau de vigilance. En situation réelle de travail, cet indicateur est utilisé notamment par Defayolle (1969) pour évaluer la qualité de la veille radar.

Les travaux de laboratoire, notamment ceux de Haider et coll. (1964) puis de Lille et coll. (1968), montrent que cet indicateur varie en même temps que le niveau de vigilance du sujet. De plus, cet indicateur évolue dans le même sens que l'indice alpha de l'EEG (Lille et coll. 1970). Si son enregistrement demande une grande précision, le recueil de l'information se fait par échantillonnage et, de ce fait, la technique est plus légère expérimentalement que celle de l'EEG global enregistré en continu lors de longues périodes.

#### b) Les indicateurs complémentaires végétatifs

La fréquence cardiaque et la variabilité cardiaque ont été étudiées à la fois en laboratoire, en milieu industriel et sur route. On admet généralement que lors d'une tâche monotone de longue durée, la fréquence cardiaque tend à diminuer alors que la variabilité augmente. Ainsi, en 1965 Angiboust et coll. montrent l'intérêt de l'indice de fréquence cardiaque dans l'étude des tâches à faible composante physique mais à dominance visuelle. Puis Laville (1968) met en évidence, lui aussi en laboratoire, la diminution de l'activité cardiaque en même temps que l'activité musculaire augmente lors d'une tâche répétitive.

Dès 1964, Michaut et Pottier observent que la fréquence cardiaque moyenne diminue progressivement lors de périodes de conduite de trois heures sur circuit monotone.

Burns et coll. (1966) au cours d'une étude préliminaire indiquent que l'électrocardiogramme varie de façon significative en fonction du temps de conduite et des événements de la route. Lisper et coll. (1971), lors d'une étude comparative sur deux groupes de conducteurs jeunes et expérimentés, constatent une diminution de la variabilité cardiaque dans ce second groupe. Les auteurs attribuent cette différence des résultats au «stress» subi par les nouveaux conducteurs, empêchant la diminution de fréquence cardiaque.

O'Hanlon (1971) étudie la variabilité cardiaque comme un indice de vigilance et constate, lors de longs trajets sur autoroute, une augmentation de la variabilité accompagnée d'un appauvrissement de la performance appréciée par un observateur.

Harris et coll. (1972), au cours d'une vaste investigation, étudient 195 parcours de camions et autobus et analysent au total 1.550 heures de trajet. L'analyse porte à la fois sur des données subjectives recueillies par questionnaires et sur des données objectives. Les auteurs montrent que chez l'ensemble des conducteurs, la pente moyenne des valeurs de fréquence cardiaque s'infléchit lorsque la durée de conduite se prolonge (fig. 5).

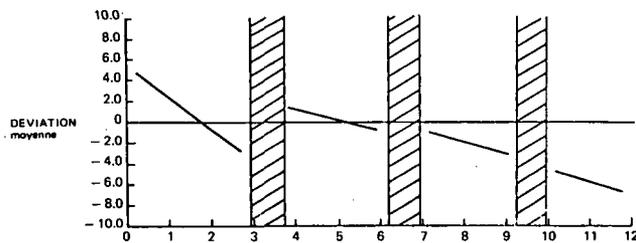


Fig. 5 - Pente moyenne des valeurs de fréquence cardiaque calculée sur des fractions du trajet, pour l'ensemble des sujets. (d'après Harris et coll. 1972).

Ainsi les variables cardiaques apparaissent comme un corollaire intéressant de la variable nerveuse centrale reflétée par l'EEG parce que, liées à elle de manière complexe, elles interviennent comme un indice hautement spécifique d'adaptation au milieu (Lacey et Lacey, 1970).

Les variations de la fréquence des clignements palpebraux ont été étudiées en situation de laboratoire par Parrot et Baumstimmmer (1965) qui ont montré, au cours de l'exécution d'une tâche d'attention soutenue, que la fréquence était en fin d'épreuve supérieure aux fréquences de clignements observés lors de la phase initiale. Ces résultats confirment ceux de Forbes et coll. (1957).

La réponse électrodermale (RED) a été enregistrée en laboratoire (Bloch, 1965) ainsi qu'en situation de conduite (Michaels, 1962, Taylor, 1964 et Preston, 1969). Selon ces auteurs, les variations de la RED sont liées à des réactions émotives ou directement au comportement. Cet indicateur présente l'inconvénient d'une utilisation délicate liée à une technique encore difficile à mettre en œuvre en situation de travail réel.

Par ailleurs les travaux de laboratoire comme ceux de Holubar (1960), puis de Davies et coll. (1965) montrent la relation entre la variation de l'activité électrique corticale et la réponse électrodermale.

#### 4 - Vigilance et conduite automobile (travaux effectués à l'ONSER).

La stratégie de la recherche a été liée à la **définition sur route des situations de conduite** susceptibles de développer des états de faible vigilance. Ceci revient à constater sur route la différenciation observée en laboratoire et la fiabilité de cette relation (Chapanis, 1970). Les statistiques montrent en effet que le pattern accidentogène typique des cas de fatigue — on dira plutôt de faible vigilance — est lié à quelques cas de conduite en situation monotone dont il convient d'analyser les composants. Notre premier objectif sera de tester la validité des indicateurs physiologiques de l'état de vigilance en étudiant la correspondance éventuelle entre certaines situations de conduite et certains états de vigilance.

##### a) *La relation entre des situations de conduite et les états de vigilance du conducteur (Pin et coll. 1966).*

En choisissant des situations de conduite bien différenciées par les critères de trafic : richesse de l'environne-

ment, charge de travail du conducteur, on tente de définir une différenciation entre ces situations par la tendance convergente de plusieurs paramètres bioélectriques.

Les situations de conduite sont les suivantes :

- la conduite en ville, dans Paris, le jour ;
- la conduite sur circuit routier, le jour ;
- la conduite sur piste elliptique fermée, le jour ;
- la conduite sur la même piste, la nuit.

Les résultats montrent que les indicateurs de vigilance choisis différencient bien les situations de conduite. **La conduite la plus monotone, la nuit, est marquée par l'indice alpha de l'EEG le plus élevé, l'indice de fréquence cardiaque le plus faible et le nombre de réponses palpébrales le plus important (fig. 6).**

Les données obtenues au cours de périodes expérimentales assez courtes — d'une heure — laissent penser que l'on a bien affaire à l'**effet global d'un environnement sur le niveau de vigilance** du conducteur sans qu'intervienne l'effet de la durée, les tracés étant dès le début de l'épreuve bien différenciés.

La situation de conduite qui induit le plus faible niveau de vigilance est la conduite sur circuit fermé, la nuit, et si l'on s'intéresse au pattern accidentogène des situations monotones menant à l'endormissement du conducteur, l'étape ultérieure de la recherche consistera à étudier, en grandeur réelle, les effets d'une conduite monotone plus longue la nuit.

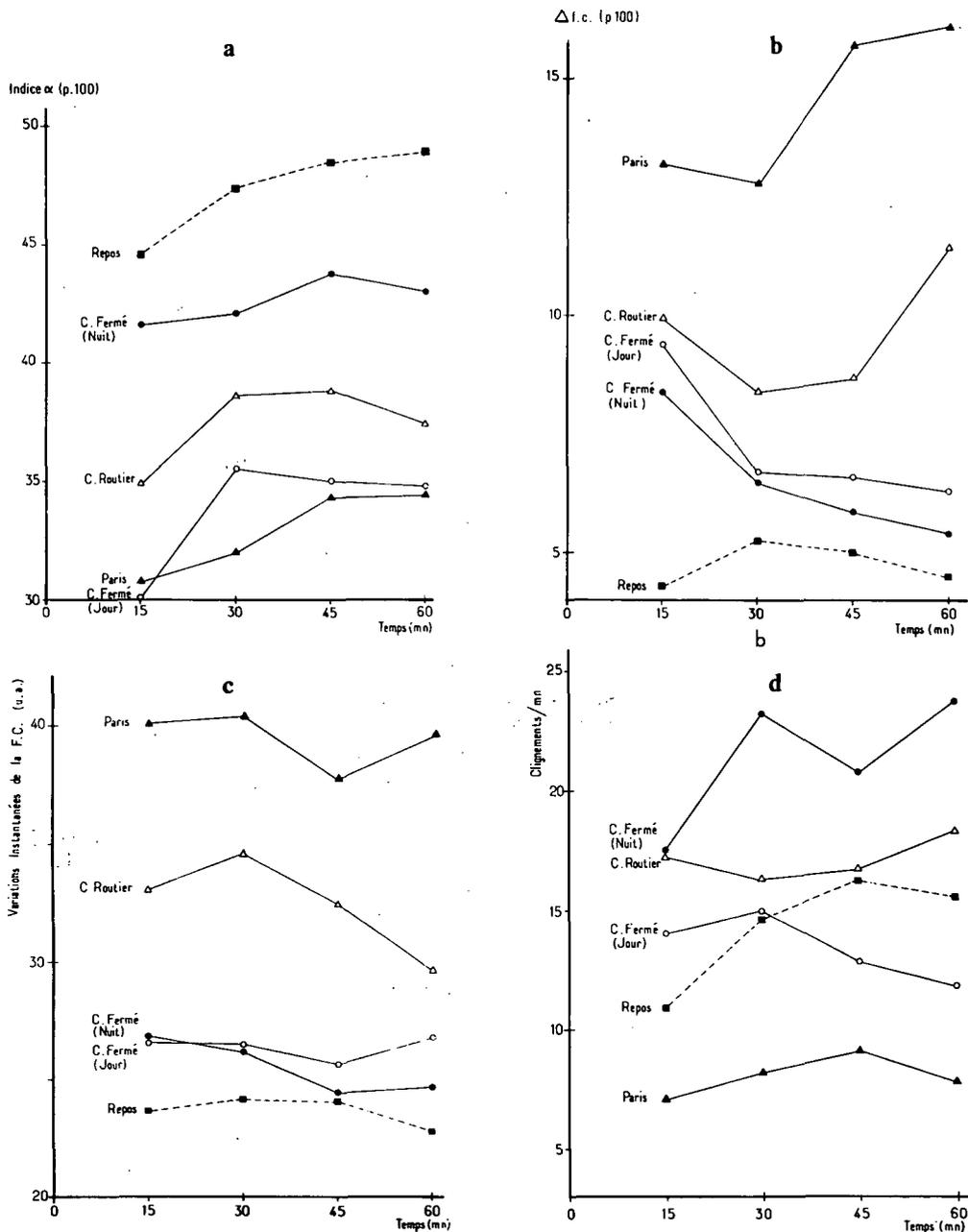


Fig. 6 - Variations des paramètres relevés au repos et dans quatre situations de conduite différentes. Courbes moyennes obtenues sur 8 sujets. Les résultats sont exprimés par rapport aux valeurs de repos : a) Variations de l'indice alpha au cours de la conduite - b) Variations de la fréquence cardiaque - c) Variations instantanées de la fréquence cardiaque (les valeurs sont exprimées en unités arbitraires) - d) Variations du taux de clignements palpébraux.

b) *Epreuves comparées de deux heures et de quatre heures de conduite sur autoroute, la nuit. (Pin et coll. 1969).*

L'objet de cette étude est de tester l'effet d'une durée de conduite sur route monotone, la nuit, sur le niveau d'éveil du conducteur.

On s'attend à obtenir des résultats différents des précédents observés sur circuit. Le nombre des manœuvres et la gamme des stimulations, surtout d'origine lumineuse, sont fortement réduites sur circuit par rapport à un

trajet réel. Aussi peut-on penser que les effets sur la vigilance du conducteur seront atténués en conduite réelle, car il reçoit les divers événements de la circulation (dépassements, croisements, etc.) comme autant de stimulus de son niveau d'éveil. Cependant, sur l'autoroute, la monotonie d'un parcours provoquée par l'absence d'un trafic opposé, par un tracé routier sans difficulté et sans fantaisie nécessitant un effort physique minimal, crée une situation propice à l'assoupissement et l'on a même pu parler de l'«hypnose autoroutière» (Shor et coll. 1970). Les résultats montrent que l'indice de vigilance le plus aisément affecté par la stimulation

lumineuse, l'indice alpha de l'EEG, montre un niveau constamment assez bas marqué sur les courbes individuelles par de nombreuses perturbations (fig. 7 a et 7 b). L'indice de fréquence cardiaque montre des effets plus massifs et cohérents comme l'effet du passage au poste de péage ; celui-ci agit comme une stimulation importante car le conducteur doit effectuer un certain nombre de manœuvres : freinage, pénétration dans la gare de péage, formalités de paiement du droit de passage, auxquelles s'ajoute l'effet de l'ouverture de la vitre, l'air frais pénétrant brusquement dans l'habitacle.

La tendance constatée au niveau des différents indicateurs montre une diminution constante de l'état d'activation. Ainsi la fréquence cardiaque, la fréquence des clignements palpébraux et l'indice électromyographique s'infléchissent au cours des deux séances expérimentales, la séance de quatre heures montrant une diminution plus marquée. Toutefois l'électromyogramme, s'il sert d'indice de tonus musculaire — et en cela reste intéressant lors de la conduite — n'a pas été retenu pour l'expérience ultérieure du fait de l'interaction des effets de la contraction statique des muscles rotatifs de la tête, même si celles-ci apparaissent aussi comme des réactions à la fatigue locale.

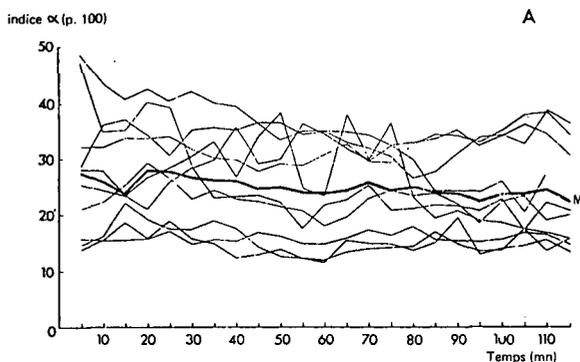


Fig. 7 a) — Au cours d'une épreuve de deux heures de conduite monotone la nuit sur autoroute, l'indice alpha de l'EEG montre un niveau bas, constant.

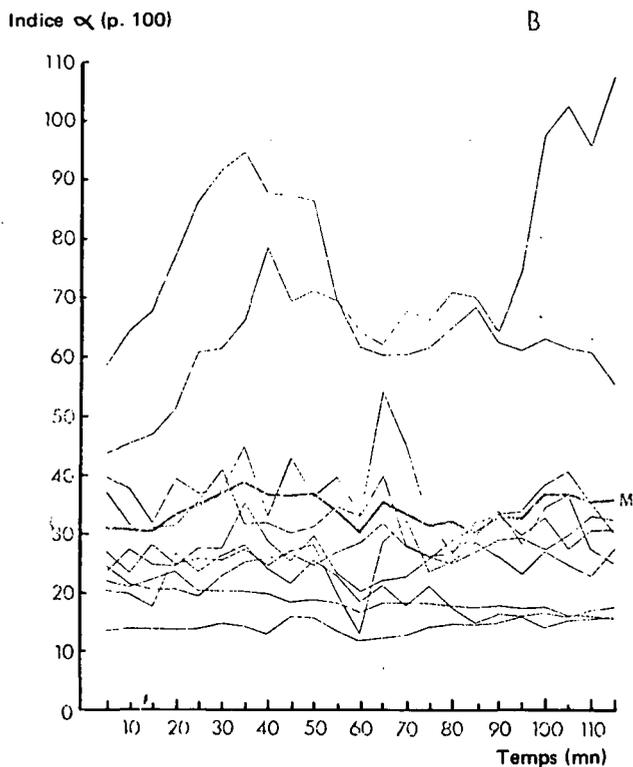


Fig. 7 b) — Au cours des deux dernières heures d'une épreuve de conduite monotone la nuit sur autoroute, l'indice alpha évolue et montre des variations individuelles importantes.

On constate donc que la conduite sur autoroute, la nuit, est génératrice d'un état de vigilance qui tend à se dégrader avec le temps. Il est toutefois élevé momentanément par des événements importants tel le passage au péage. On observe aussi une «phase d'établissement» au cours de laquelle, en début d'épreuve, la vigilance diminue pour atteindre un niveau d'équilibre qui tendra par la suite à s'infléchir. Cet effet est connu en laboratoire (Tarrière et Wisner 1960, Mackworth 1950, Tarrière 1960, Jerison et Wallis 1957, Jenkins 1953, cités par Tarrière et Hartemann 1966) où toutefois on voit l'inflexion durer plus longtemps. Sur route on observe en sens contraire aussi un «effet de fin» qui est de même durée que l'effet de début (environ 30 minutes). Ce phénomène est relié aux stimulations de l'environnement, le conducteur prenant connaissance par la signalisation de la proximité de Paris redevient plus actif.

L'observation des tracés suggère l'effet d'événements de moindre importance sur le niveau de vigilance du conducteur. Aussi peut-on se poser deux types de questions :

- en ce qui concerne la monotonie du parcours : lorsque le trajet se prolonge, quelles sont les modalités de la baisse de vigilance ?
- en ce qui concerne la relation environnement/état de vigilance du conducteur : quel est l'effet de différents facteurs sur le niveau de vigilance du conducteur ?

c) *Six heures de conduite avec et sans pauses sur autoroute, la nuit (Lecret et coll. 1968).*

Comme le suggère une enquête de Michaut (non publiée), une conduite de longue durée est pour la plupart des usagers assimilée à une durée supérieure à quatre heures. Une expérience sur autoroute a donc porté sur des trajets de 640 kms parcourus à une vitesse constante de 100 km/h. De plus, on tente d'enregistrer les événements extérieurs pouvant avoir une valeur de stimulation (passage sur des terre-pleins éclairés, croisements de véhicules allumés, dépassements, etc.). A ce relevé des incidents critiques s'ajoute l'expérimentation d'événements particuliers comme des pauses situées à 250 et 400 kms du départ lors d'un second parcours, le premier étant effectué en continu. Les résultats montrent globalement une tendance convergente au niveau des différents paramètres physiologiques, le trajet sans pause s'accompagnant d'un état d'éveil plus bas que le trajet avec pauses.

On constate toutefois que dès le début de l'expérience et pour l'ensemble des conducteurs, le niveau d'éveil est différent suivant le type d'épreuve avec ou sans pauses (fig. 8). Ceci tendrait à faire penser à une sorte de mise en condition reflétant une préparation à l'épreuve que l'on avait déjà observée au cours de l'expérience comparative de quatre situations de conduite.

Les pauses interviennent au niveau de l'indicateur de vigilance le plus central (indice alpha de l'EEG) comme des éléments régulateurs au cours d'une évolution qui tend de toute façon, après quatre à cinq heures de conduite, vers des phases d'assoupissement.

Il est à noter qu'au cours de ces trajets de longue durée, effectués à partir de 21 heures, les phénomènes liés à l'évolution des cycles nycthémeraux seront importants. Toutefois, si les tendances suivies par les paramètres s'atténuent de ce fait, le groupe des conducteurs expérimentaux voyage entre 21 h et 5 h du matin les données n'en montrent pas moins les effets d'une longue conduite et aussi les effets ponctuels de certains facteurs. En conséquence, cette étude des effets tendanciel et ponctuels fait intervenir le facteur du nycthémère sur le niveau d'éveil au même titre que les diverses autres agressions. L'effet particulier du nycthémère s'ajoute à la monotonie de la tâche et s'observe singulièrement au niveau de l'indice cardiaque.

Une différence apparaît entre les situations au sens où le parcours sans pause montre une variabilité moindre de l'indice cardiaque. On observe la même tendance sur les variables psychomotrices (mouvements du volant et pression sur l'accélérateur). La récupération apportée par les pauses, constatée au niveau des indicateurs périphériques, est particulièrement marquée dans le cas du réflexe palpébral (fig. 9). Elle ne fait toutefois pas oublier que le niveau d'éveil central évolue constamment vers l'assoupissement, comme le montre le progressif enrichissement du tracé EEG en ondes alpha lors des deux trajets après cinq heures de parcours.

L'enquête consécutive au trajet expérimental permet d'expliquer certains coups de frein brutaux et désordonnés ; le conducteur «voit» des événements insolites se produire sur l'autoroute : traversée d'un troupeau, chute d'un arbre sur la chaussée ou bien un château d'eau se dresse sur cette même chaussée. Ces manifestations d'une fatigue excessive cumulée, tout en étant bien connues des conducteurs professionnels, ne les surprennent pas moins. Comme chez les pilotes d'avions, ces événements qui peuvent être sans intérêt dans beaucoup de tâches, peuvent avoir là des conséquences graves. Flinn (1965), considérant un certain nombre de cas de pilotes ayant subi des effets semblables, met l'accent dans leur tâche sur l'importance des facteurs de fixation, de monotonie, d'immobilité. Cet auteur indique une enquête près de conducteurs de camions et, sur trente-trois cas, montre que deux **hallucinations hypnagogiques** ont abouti à des accidents. Les sujets se trouvaient alors dans des états de fatigue importants ; de plus, l'obscurité et le faible niveau d'activité peuvent être responsables de l'élaboration des images trompeuses. L'auteur insiste sur l'effet de désorganisation à long terme de ces conditions très pauvres en stimuli et l'anxiété latente qui peut en résulter.

La confrontation des différents indicateurs montre que lorsque la performance reste proche de la normale (marquée seulement par une variabilité moins grande au niveau des mouvements du volant, par exemple) ; le niveau d'éveil central manifeste déjà des signes alarmants

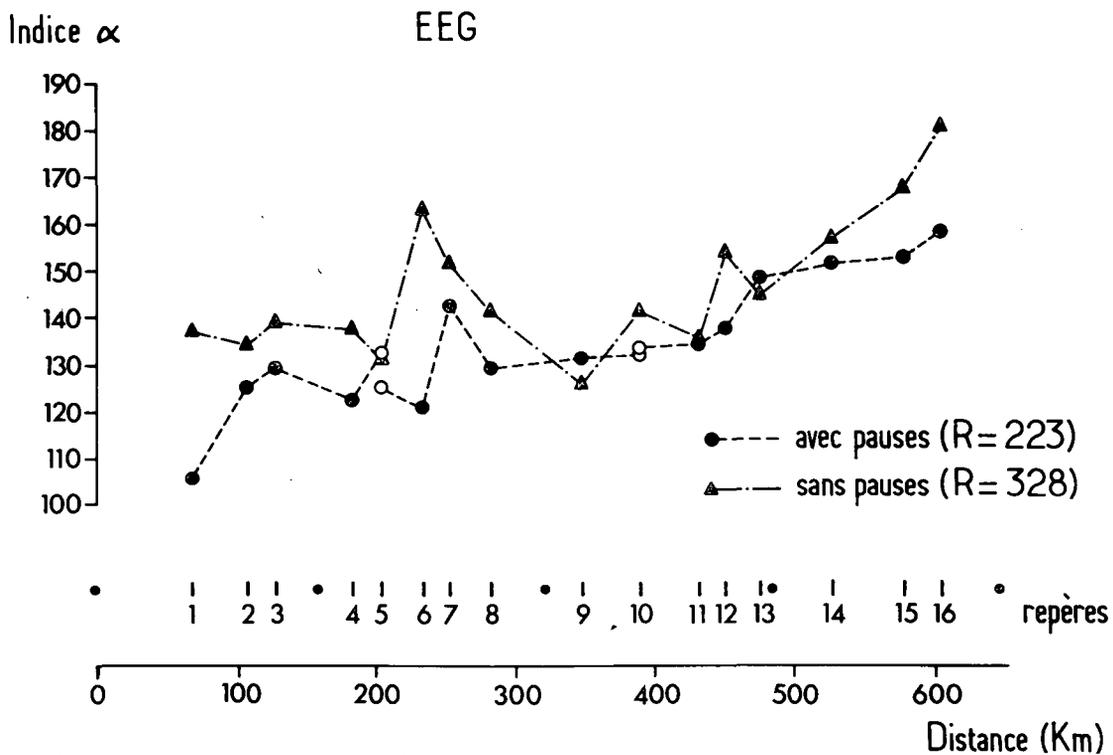


Fig. 8 - Variations moyennes de l'indice alpha, obtenues sur 10 conducteurs, au cours d'épreuves de six heures sur autoroute, la nuit, avec et sans pauses. Valeurs exprimées par rapport à la valeur de repos.

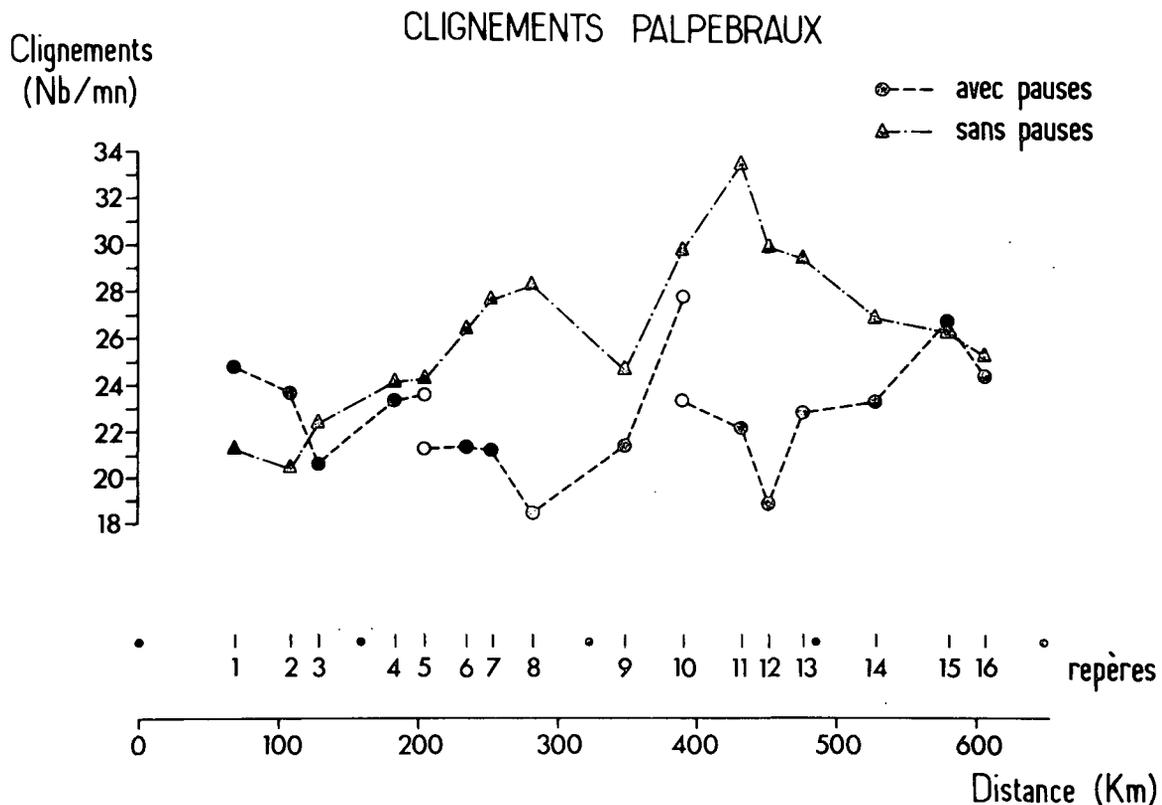


Fig. 9 - Evolution moyenne du nombre de clignements palpebraux obtenue sur 10 conducteurs au cours d'épreuves de six heures, sur autoroute, la nuit, avec et sans pauses. Valeurs exprimées par rapport à la valeur de repos, yeux ouverts.

de baisse de vigilance. L'observation clinique des conducteurs par l'expérimentateur lors des épreuves révèle sur ces parcours, des états proches de l'assoupissement tandis que les tracés physiologiques montrent un degré d'activation particulièrement bas, la manipulation du véhicule restant à peu près correcte.

Ceci revient à dire que l'on obtient, par le biais des indicateurs neurophysiologiques, une information précoce sur une détérioration des capacités du conducteur. Ces «signaux» d'alerte sont importants et montrent la spécifique richesse des renseignements obtenus à partir de l'indicateur EEG. Le Pr. Metz («Symposium Fatigue et Stress», 1968) préconise de rechercher les microsommeils au cours de la journée du travailleur, en constatant que cette information est probablement beaucoup plus riche que l'étude du sommeil consécutif à la période de travail, souvent décevante.

L'étude de ces «états limites» peut être menée par deux voies différentes : en analysant l'état de vigilance de sujets soumis à des périodes de travail très longues et dont on peut faire l'hypothèse qu'ils se trouvent, surtout la nuit, dans des états de vigilance très bas. La seconde voie d'étude consiste à analyser un sujet dont le repos est «normal» et conduisant pendant des périodes longues.

d) *Le niveau de vigilance de conducteurs professionnels (Lecret et Niepold, 1971).*

L'objet de ce travail est de préciser l'évolution comparée du niveau de vigilance de deux groupes de conducteurs soumis à des charges de travail différentes : un groupe effectue sa tâche selon un horaire régulier et «normal», le second groupe supporte un rythme de travail intense dont rendent compte les fiches d'activités remplies par les conducteurs. On montre que, globalement, l'activité alpha est plus riche lorsque le conducteur a subi un rythme de travail intense. On observe aussi des périodes d'activités lentes de l'EEG que l'on rapproche avec intérêt d'un indice de posture : le conducteur «s'endort», incliné sur le volant, ses yeux se ferment parfois pendant de courts instants.

Toutefois, pour des raisons d'ordre technique, ces observations physiologiques restent indicatives car de nombreux «artefacts» (vibrations, artefacts électriques, etc.) peuvent aussi donner lieu à ces effets qui restent discrets.

e) *Le niveau d'éveil des conducteurs lors de longs trajets monotones de nuit sur autoroute (Lecret 1973, étude non publiée).*

On se propose de mettre en évidence les effets spécifiques de la monotonie lors de longs trajets de nuit. Une installation technique sophistiquée, s'aidant de la télémétrie, permet d'enregistrer l'électroencéphalogramme, la fréquence cardiaque et la fréquence des clignements palpébraux dans des conditions proches du laboratoire. L'expérimentateur se tient à l'arrière du véhicule et commente le trajet. L'expérience a lieu sur l'autoroute du sud, la nuit, à partir de 21 h. Au départ de Montlhéry on demande aux conducteurs de se diriger vers Lyon puis d'en revenir. Le trajet ne sera jamais effectué dans sa totalité, des signes d'assoupissement s'étant manifestés avant le but fixé. Lors de ces trajets, les résultats montrent concurremment une augmentation globale de l'activité alpha de l'EEG (fig. 10) et une diminution de l'activité cardiaque (fig. 11).

Au cours des dernières heures de trajets de sept heures, on observe sur l'EEG l'apparition de bouffées d'ondes lentes (fig. 12). Haider (1970), reprenant des résultats similaires de Bjerner (1949), considère ces courts instants de «blocage» comme les signes d'une diminution momentanée de la vigilance cérébrale assimilables à une courte période de repos. Lors de ces périodes, le croisement d'un véhicule allumé provoque une activation et le retour à un niveau d'éveil plus élevé, toutefois encore riche en ondes alpha. Ceci revient à dire que pendant de très longs trajets monotones, la nuit, le conducteur peut se trouver dans des états de vigilance très faible assimilables à des «micro-endormissements». Il faut noter que le conducteur peut parvenir à ces états après des périodes de conduite inférieures lorsqu'il a subi différentes atteintes : privation de sommeil, charge de travail excessive, drogues, alcool, etc.

Outre les pauses dont on a vu à la fois les effets et les limites d'efficacité, on peut considérer que certains événements de l'environnement auront un effet de stimulation sur le niveau d'éveil des conducteurs.

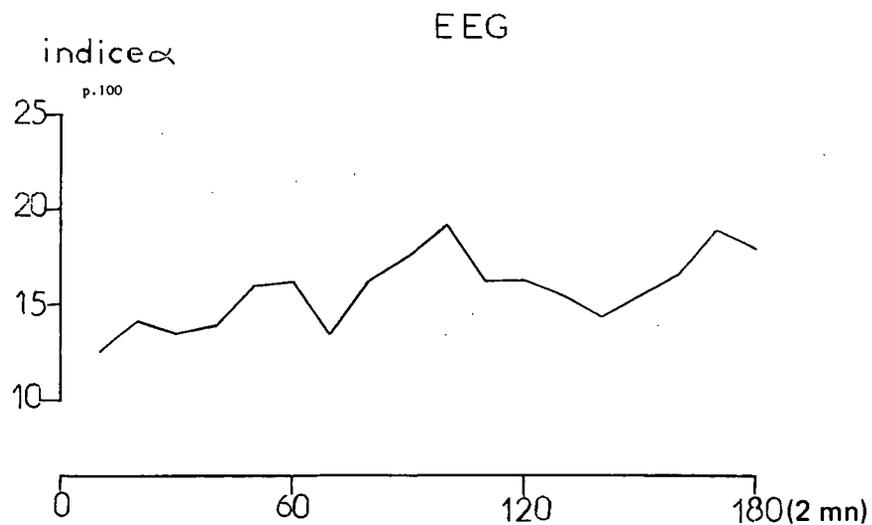


Fig. 10 – Evolution moyenne de l'indice  $\alpha$  de l'EEG au cours d'épreuves de conduite monotone, la nuit.

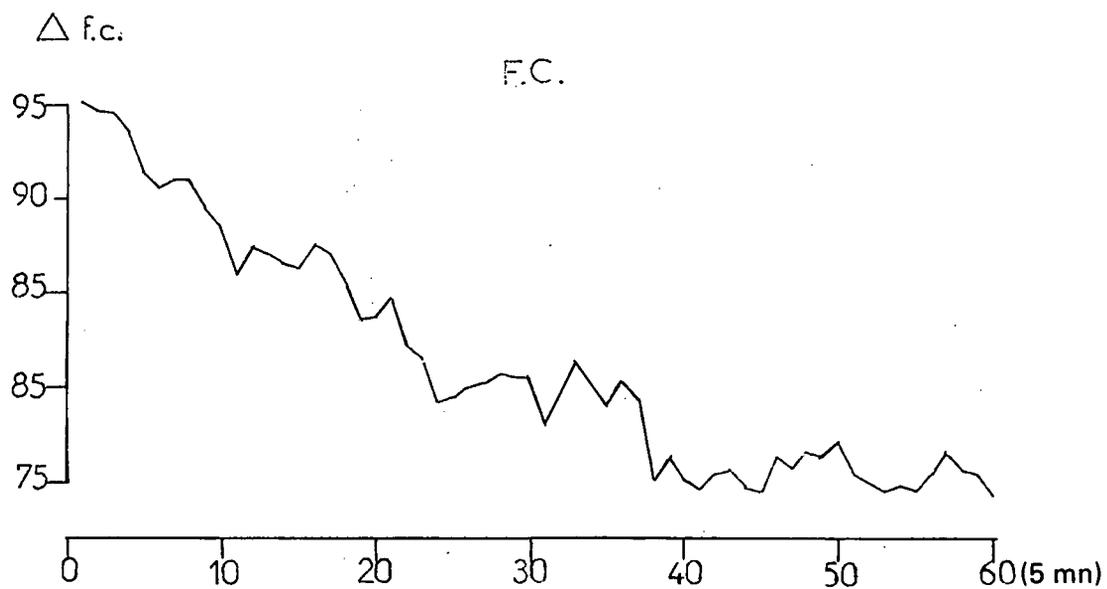
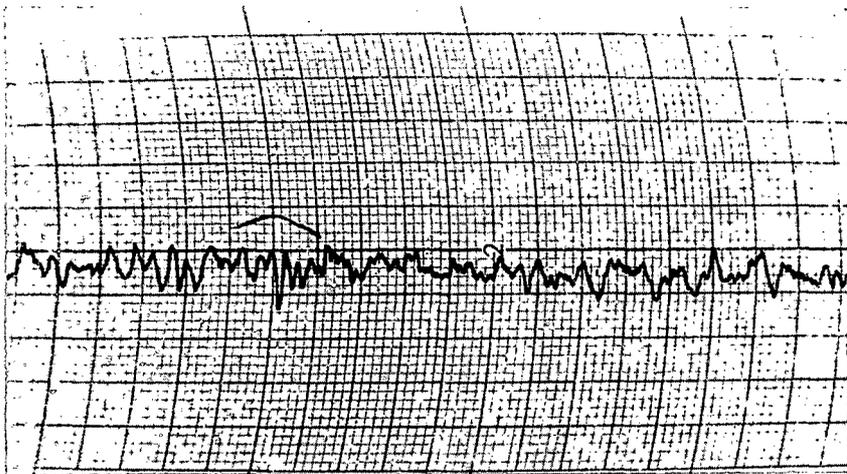
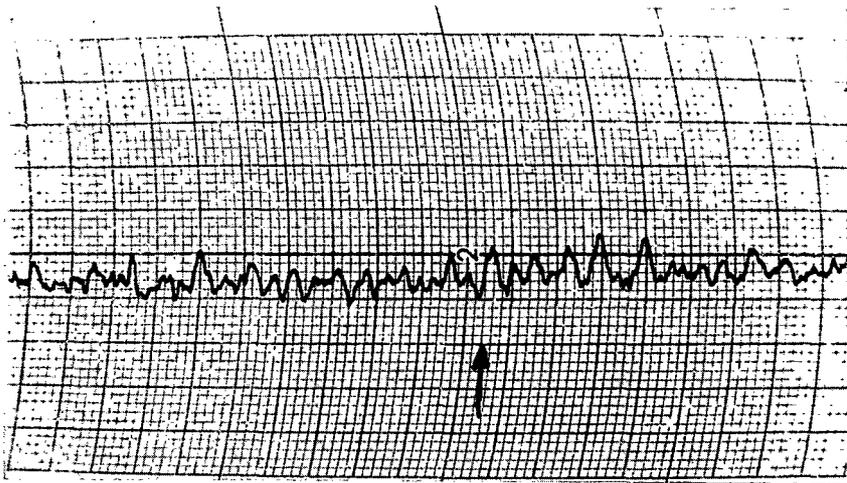
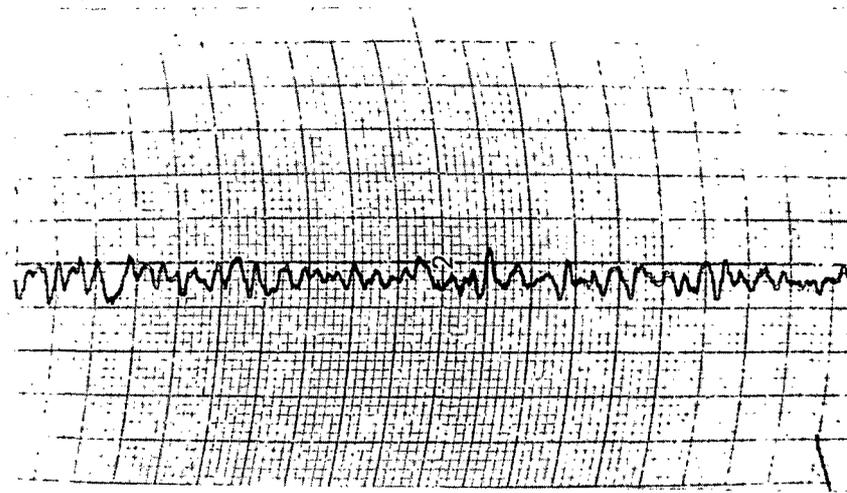


Figure 11 – Evolution moyenne de l'indice de fréquence cardiaque.



*Figure 12 – Apparition sur le tracé occipital de l'EEG de courtes bouffées d'ondes lentes*

f) *L'effet de signaux lumineux sur le niveau de vigilance du conducteur (Lecret, 1973).*

Après avoir étudié l'effet de facteurs volontaires comme les pauses sur le niveau de vigilance du conducteur, on peut s'interroger sur l'effet de phénomènes qu'il subit indépendamment de sa volonté comme les phares de véhicules qu'il croise. Ces signaux lumineux constituent, en effet, souvent, les seuls éléments stimulants de l'environnement du conducteur la nuit sur autoroute. Leur rôle cumulatif a été démontré lors d'expérience sur l'éblouissement, notamment par Schiflett et coll. (1969). Il reste toutefois à analyser les cas de croisements simples en feux de croisement.

Sur le trajet monotone d'un circuit elliptique, l'effet des signaux offerts par les phares lors des croisements a été analysé à l'aide des potentiels évoqués auditifs (PEA). Les résultats montrent des différences statistiquement significatives entre les signaux EEG observés avant le croisement et ceux qui sont relevés après lui (fig. 13). On peut supposer une atténuation des effets lors de trajets réels ; toutefois, une expérience précédente a montré la constance des tendances observées entre cette sorte de simulation qu'est la conduite sur circuit et la conduite sur route. Dans un environnement plus riche, on peut donc penser que des signaux lumineux – et en particulier ceux des phares des autres véhicules qui croisent – ont un effet de stimulation.

L'évidence statistique de l'effet de signaux lumineux pourrait avoir une portée pratique dans le cadre des opérations de sécurité car il suggère des efforts, non seulement en ce qui concerne l'éclairage ponctuel des autoroutes, mais aussi en ce qui concerne le contexte motivationnel qu'il conviendrait peut-être de lui adjoindre pour renforcer l'effet de la stimulation elle-même. Des travaux sur l'éblouissement seraient à envisager dans ce contexte limitatif.

Située dans une optique un peu différente, une étude récente a eu pour but de montrer l'effet stimulant de signaux fournis par un dispositif de guidage (ERGS) et d'étudier les variations du niveau d'éveil du conducteur en situation non monotone. Ceci revient à dire que l'on aborde l'autre sens d'un continuum dont on a exploré les stades les plus proches de l'endormissement. ...

g) *L'état de vigilance du conducteur soumis à un guidage (Crespy, 1972).*

Lors de trajets de courte durée, un groupe de conducteurs est soumis au guidage « automatique » produit par un système électronique alors qu'un autre groupe, en s'aidant d'une carte, doit chercher son trajet par ses propres moyens. L'indice alpha de l'EEG, indicateur du niveau d'éveil du conducteur, atteint un stade plus élevé lors des trajets « guidés » que lors des trajets « non guidés ». Ceci montrerait peut-être l'importance, en termes de niveau de vigilance, de la motivation du conducteur à sa tâche.

La différence entre les deux types de parcours est toutefois peu importante.

Cette étude a permis de constituer un ensemble de tracés expérimentaux qui pourraient être utilisés comme des tracés vigiles de référence dans le cadre d'une interprétation élaborée de l'EEG, puisque l'expérience s'est déroulée dans des conditions de sollicitations « normales » le soir avant 21 h. L'interprétation des états vigiles sur l'EEG pose des problèmes en dehors des stades du sommeil bien définis et identifiables par la seule inspection visuelle. Actuellement, des modes d'exploitation adaptés aux états de veille font appel au traitement analogique ou numérique des données ; ils permettraient d'évaluer les états de veille active où, précisément, les signes de la dégradation de vigilance (ondes alpha) seraient peu nombreux ou absents.

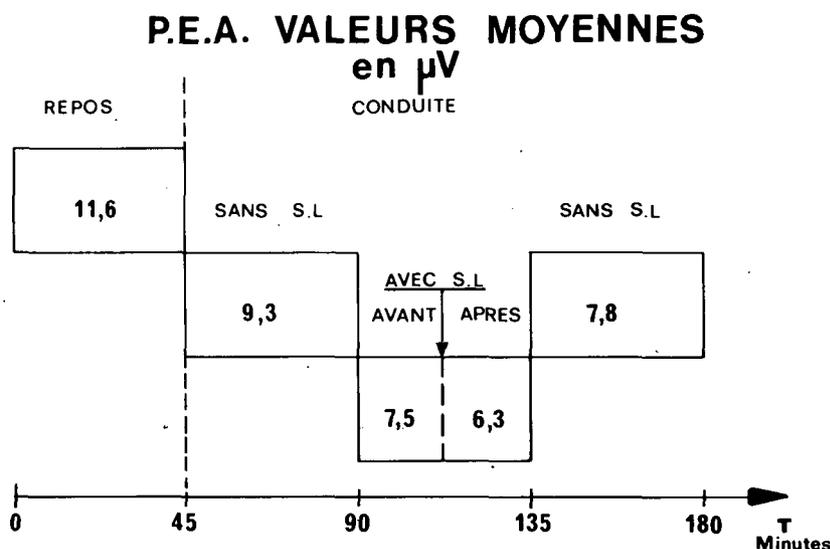


Figure 13

## CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus par les différentes voies d'approche des phénomènes de fatigue et par la voie spécifique choisie à l'ONSER, on est amené à reprendre un certain nombre de questions pour tenter d'y répondre. Elles sont de natures diverses et concernent à la fois des éléments théoriques et pratiques.

**I - En premier lieu, il convient de se demander dans quelle mesure une problématique de la fatigue peut être évoquée dans le cadre de la sécurité routière ?**

De la revue bibliographique (ch. 1), outre les remarques particulières qui ont pu être faites, peuvent être issues certaines recommandations d'une part quant aux phénomènes observés, d'autre part aux méthodologies mises en œuvre.

S'il a été une phase nécessaire de la recherche, le descriptif des symptômes liés à la prolongation de la tâche, que l'on a appelés fatigue, a été complété par une autre approche que l'on pourrait appeler de **type ponctuel** de la fatigue, reprenant les indices de performance, actions du conducteur (ch. 1. 2) ; il semble néanmoins que l'on atteigne un niveau explicatif beaucoup plus général en s'adressant aux structures supérieures responsables de l'état d'éveil du conducteur.

L'étude de la charge de travail que peut représenter une tâche comme la conduite est susceptible d'apporter les éléments précieux en termes de sécurité, puisqu'ils concernent les mécanismes probablement précurseurs de la performance motrice.

Les premiers éléments de la recherche explorant les états de vigilance du conducteur n'ont pas déçu dans ce sens et constituent une base de travail à la fois originale et riche de perspectives.

**II - En s'intéressant aux variations de la vigilance, quels éléments de certitude peut-on actuellement dégager ?**

De manière générale, les variables électrophysiologiques ont permis au terme d'une série de recherches appliquées aux niveaux globaux de vigilance :

1. de distinguer objectivement des situations de conduite différentes dont une sorte de taxonomie a pu être établie à l'aide de critères physiologiques. Ces résultats vont dans le même sens que ceux, entre autres, de Kondo, Preston et Taylor ;
2. de différencier dans une classe de situations, des états de vigilance correspondant à des durées de conduite différentes ;

3. de montrer les effets fins des stimulations lumineuses produites par les phares adverses sur le niveau de vigilance des conducteurs dans une situation routière monotone.
4. de préciser la tendance massive, après un certain temps de conduite nocturne monotone (environ 4 heures) sur autoroute, dans des conditions d'isolement, à une diminution de la vigilance se traduisant précocement au niveau des paramètres électrophysiologiques et, plus tardivement, au niveau des paramètres psycho-moteurs.

Ces indications entraînent certaines conséquences :

- *Les variables électrophysiologiques* se comportent comme de véritables prédicteurs des niveaux de vigilance, qu'il s'agisse de caractériser une situation de conduite par rapport à une autre, ou bien de préciser les moments où l'on peut s'attendre à ce que la performance se détériore.

Cette qualité est essentielle dans le domaine de la sécurité routière, car il importe de saisir les signaux précoces de la désadaptation du conducteur, avant qu'elle ne s'exprime sous forme d'une performance erronée ou bien, en d'autres termes, de capter les dysfonctionnements dès qu'ils se manifestent, au niveau nerveux supérieur.

- *La notion de vigilance*, qui rend compte d'un état d'alerte optimal, répondra au mieux à la problématique routière considérée sous l'angle spécifique de la prévention des accidents.

- Il n'est cependant pas douteux, eu égard à une **méthologie** encore empreinte de certaines difficultés théoriques (fragilité des généralisations laboratoire - étude sur le terrain ; variabilités inter et intra-individuelles, etc...) que la recherche entreprise dans ce domaine particulier de la vigilance garde un caractère original au sens où les niveaux de référence observés, les caractéristiques analysées, ne peuvent l'être que dans la situation de conduite réelle dont on a pu montrer la spécificité des composantes psychologiques et physiologiques (introduction du ch. II).

**III - Au terme d'une première série de recherches dans ce domaine, un certain nombre d'implications de type pratique peuvent déjà être précisées.**

1. Dans le cas de la conduite sur une route monotone comme l'autoroute, la nuit, la dégradation de la vigilance est lente et peut atteindre des états proches du sommeil, alors que la performance semble à l'observa-

teur rester « normale ». De manière générale, si le trajet dure plus de quatre heures, la tendance à l'endormissement persiste, même si l'on observe des temps de repos réguliers tous les 200 km. Ceci revient à dire qu'après une telle période de conduite, la nuit, le conducteur devra être attentif aux signes subjectifs de sa fatigue (voir chapitre I, 1) et observer des pauses plus fréquentes ou mieux, un véritable repos.

2. Lors de la conduite, l'environnement, comprenant ou non des signaux visuels ou auditifs, a un rôle important sur le niveau de vigilance du conducteur et, par exemple en ville, le conducteur sera plus vigile que sur un parcours de rase campagne.
3. Lors de trajets de nuit, même courts, en situation monotone, la **composition visuelle de l'environnement prend une importance particulière en termes de stimulation du niveau de vigilance**. Ainsi, si la gêne due à l'éblouissement reste une nuisance sur route, dans certains cas de conduite nocturne cette sensation peut représenter une stimulation brusque et intense. Les résultats obtenus expérimentalement (II, 4 f) seraient de nature à modérer une tendance à masquer totalement les voies autoroutières entre elles, et par ailleurs, ils pourraient suggérer l'utilisation de dispositifs lumineux particuliers destinés à « animer » certains trajets connus pour leur monotonie où se produisent fréquemment des accidents de nuit.

Ces résultats globaux peuvent donner lieu à des indications aux conducteurs. Ils ne font pas état de observations particulières, nombreuses, qui devront faire l'objet d'études plus systématiques pour acquérir un statut de certitude. On a remarqué que le nombre de sujets observés, en particulier dans la deuxième partie, est restreint. Ceci est dû au fait que, dans le domaine de l'électrophysiologie, si l'échantillon est cohérent, la tendance d'une variable, si elle est constante chez tous les sujets, peut conduire à une généralisation. Il convient toutefois d'observer un protocole expérimental soigneux pour que, justement, toutes choses soient égales hors la relation stimulation/réponse.

#### IV - Ceci nous amène à un autre type de questions susceptibles d'étayer **une orientation de recherche utilisant les techniques électrophysiologiques** et qui tente de cerner, dans un premier temps, les **inconvenients de ces techniques en termes expérimentaux** :

- On est d'abord limité dans leur application, parce que ce sont des techniques lourdes et onéreuses, les enregistrements supposant l'utilisation d'un matériel dont la mise au point et la manipulation demandent des opérateurs spécialisés. De plus, malgré de récents et importants progrès technologiques, telle l'apparition et l'utilisation courante de la télémessure, l'adaptation de ces dispositifs doit se faire au coup par coup et, dans le cas d'une tâche comme la conduite, cette adaptation est délicate. Il faut toutefois souligner que, si la simple mise au point technique de l'expérience sur les chauffeurs de poids lourds a demandé plus

d'un an, la dernière étude concernant les stimulations lumineuses par les phares adverses (II, 4 f) n'a requis que quelques mois à une équipe technique, elle aussi mieux préparée.

- Liée à cette difficulté de « passer au terrain » avec des techniques de ce genre, est celle d'observer les conducteurs pendant leur activité. Aussi se trouve-t-on nécessairement limité dans le nombre des situations expérimentales. Ainsi, lors de l'expérience portant sur la conduite sur autoroute pendant six heures - avec et sans pauses - (II, 4 c), aurait-il été souhaitable d'observer systématiquement différents types de pauses, en durée et en occupation du temps de repos, et les différentes longueurs des trajets. Un plan expérimental de ce genre, compte tenu des possibilités de nos laboratoires, durerait des années !
- Au niveau de l'interprétation des données, essentiellement de l'EEG spontané, les difficultés se trouvent résolues au fur et à mesure que progresse l'électrophysiologie de laboratoire et appliquée (résultats américains obtenus lors de vols spatiaux par exemple). La principale difficulté est liée au manque de situations de référence. En effet, si l'on connaît bien les états de sommeil et les caractéristiques de la vigilance, yeux fermés ou ouverts dans un laboratoire, on a peu de connaissances concernant l'état vigile de l'homme au travail.

Outre l'intérêt théorique de l'analyse des processus de vigilance et compte tenu des progrès réels dans leur utilisation, ces techniques présentent des **avantages considérables**, car elles permettent de suivre l'évolution du conducteur sans aucune intervention après le départ du véhicule, jusqu'à son arrivée. Le matériel expérimental (électrodes) est fixé assez rapidement et vite « oublié » par les sujets, de sorte que les comportements observés peuvent être assimilés à ceux qui se produiraient spontanément. Par ailleurs, l'enregistrement magnétique des données permet, par le commentaire de l'observateur, de rendre compte après le parcours, d'un grand nombre de composantes de la situation. De plus, l'enregistrement sur bande magnétique peut faire l'objet de dépouillements automatiques (II, 4 c), technique particulièrement riche pour l'exploitation de l'EEG.

Il reste que l'étude des niveaux de vigilance en conduite automobile ne peut se satisfaire de la perspective limitée d'investigations en laboratoire (ce point a été développé en I, 2 b) et que l'on confond peut-être souvent les difficultés liées à l'exploitation des techniques électrophysiologiques avec celles que rencontre toujours l'expérimentaliste travaillant en **milieu réel**, celles-ci étant probablement majorées lorsqu'il s'agit d'un véhicule laboratoire sur une route réelle.

- V. Pour aborder un niveau plus théorique et définir les voies d'orientation vers l'action ou bien vers des recherches à entreprendre, il faut se demander si l'on continuera à étudier le problème sous le seul angle de

**l'étiologie de la fatigue ou de la baisse de vigilance au cours de la conduite, ou bien si l'on choisira plutôt — au regard des données accumulées — de rechercher leurs facteurs corollaires susceptibles à la fois de provoquer la baisse de vigilance, de l'entretenir ou de la supprimer.**

1. Si certaines composantes de la détérioration de la vigilance sont maintenant précisées, il reste, sous forme d'un ensemble d'enregistrements de longs trajets qu'un travail de dépouillement important serait à entreprendre, supposant une partie de recherche mathématique, appliquée au signal particulier qu'est l'EEG. On peut, en effet, supposer d'après des études récentes, qu'il est possible de définir de façon similaire aux «stades» du sommeil, des «**patterns**» caractérisant l'état de veille dans lesquels s'organisent les éléments unitaires de l'EEG sous des formes typiques.

De la même manière que l'on a décrit dans les travaux menés à l'ONSER une progression à l'origine de laquelle (II 4 a) une étude a permis de poser des situations expérimentales de référence, de la même manière il conviendrait d'observer un plan d'expérimentation rigoureux, tendant à préciser des **patterns d'activité électroencéphalographique de veille**, susceptibles d'être comparés à l'activité électrique observée en d'autres situations routières. Il semble bien que l'on devra passer par ces phases de mise en référence, du fait de l'extrême mobilité des phénomènes de vigilance et du caractère très spécifique de la situation de conduite.

Par ailleurs, il paraîtrait intéressant d'analyser les phénomènes mis en jeu lors des périodes longues de conduite et, notamment, les **invariants physiologiques lors du cycle nyctéméral** dont on peut supposer une expression particulière pendant une tâche comme la conduite d'un véhicule.

De plus, il serait utile d'analyser les **corrélats physiologiques de certains événements paroxystiques** de la conduite tels que les éléments développant des stress ou bien, à l'autre extrême, les moments «d'absence» rencontrés par exemple par les conducteurs de camion car, avec un statut différent, ils représentent des points privilégiés dans la chaîne de causalité aboutissant à l'accident.

La connaissance des signes de détérioration de la vigilance et de leurs corrélats en termes de performance de conduite introduit l'idée **d'un contrôle de ces phénomènes par des systèmes qui prendraient une valeur d'aide au conducteur**. Il a été donné de développer (cf. ch. I 2 b) l'intérêt des travaux appliqués à certains aspects particuliers de la performance du conducteur, comme le contrôle des mouvements du volant. On pourrait alors penser qu'une technologie adaptée serait susceptible d'utiliser cet indicateur pour assister le conducteur par un contrôle continu de son activité. Un certain nombre de tentatives ont donné lieu à des dispositifs dont il conviendrait d'étudier les principes puis les applications, au cours d'une expérimentation

mettant en jeu à la fois des indicateurs physiologiques et moteurs.

2. **Sur un plan d'analyse psychologique**, et parallèlement aux voies que l'on vient de définir, susceptibles de préciser les variations des niveaux de vigilance, il semble que l'on doive s'intéresser aux **facteurs susceptibles d'agir sur le niveau de vigilance du conducteur** et, en premier lieu, au lien psychologique qui peut s'établir entre le conducteur lui-même et sa fatigue. On a, en effet souvent constaté la persistance de processus de masquage ou de résistance à l'égard des phénomènes de fatigue. Le plus souvent les conducteurs connaissent les signes précurseurs de leur lassitude et, même s'ils les identifient, il prennent le risque de conduire dans cet état. On se propose donc d'analyser le processus de refus qui mène le conducteur à poursuivre, malgré tout, son trajet. Il s'agit de procéder à une analyse de mécanismes psychologiques mis en jeu où des techniques de type clinique pourraient être utilisées. Cette intervention pourrait être suivie d'une information intensive concernant les risques précoces de la fatigue ou bien une action tendant à infléchir la tentative de poursuivre la route, alors que la fatigue a été reconnue comme telle.
3. **En ce qui concerne l'environnement**, on a pu montrer au long de ce travail l'importance de sa composition sur la variation globale de la vigilance des conducteurs, et l'on sait que de nombreux auteurs — essentiellement dans le domaine de l'ergonomie industrielle — attachent la plus grande importance aux signaux produits par la tâche. Or, la route peut être considérée pour le conducteur comme l'équivalent de l'outil de l'opérateur en usine et, en même temps que le véhicule, elle émet des signaux parmi lesquels le conducteur puise selon ses besoins. Adapter la route et son environnement au conducteur reviendra donc à leur donner, lors de la conception, des caractéristiques non seulement esthétiques, mais ergonomiques, qui les rendront plus directement utilisables.

Outre cette aide à la conduite, dont les liens avec les phénomènes de vigilance apparaissent, il est possible d'agir plus directement sur l'**environnement visuel** en lui conférant des caractéristiques, à la fois de signification et d'intensité lumineuse propres à soutenir ou à stimuler la vigilance du conducteur ; peu de travaux sont actuellement menés dans ce domaine, où le paysage est organisé en fonction de critères plutôt esthétiques, alors qu'on sait l'utilisation visuelle en termes de lecture qui en est faite par le conducteur.

Les voies de recherche peuvent donc se répartir en catégories différentes selon qu'elles tentent de compléter nos connaissances des processus de dégradation de la vigilance lorsque le sujet conduit, ou bien qu'elles abordent des actions plus pratiques, de nature à corriger des comportements. Elles devraient avoir toutes deux des prolongements dans les actions d'information aux usagers car, de cette analyse des problèmes de fatigue et de vigilance du conducteur, il ressort que plus que des

consignes précises comparables à celles que l'on peut donner dans le domaine de l'alcool ou des drogues, par exemple, c'est à une véritable prise en compte du conducteur par lui-même qu'il faudrait parvenir, l'ensemble des remèdes apparaissant comme des épiphénomènes par rapport à une sensation que seul le conducteur lui-même est en mesure d'apprécier.

Le contrôle des phénomènes de fatigue et surtout de leur apparition est important dans toutes les activités du transport ; c'est ainsi que l'analyse des états de vigilance

a contribué à une évaluation du coût physiologique de l'activité de conduite dans le cas où celle-ci est professionnelle, qu'il s'agisse des conducteurs de trains ou de camions. Le domaine réservé à ce que l'on a appelé la boîte noire humaine, mécanismes nerveux supérieurs, est peu à peu mis à jour. Aussi, les résultats expérimentaux viendront-ils enrichir le corps des connaissances dans ce domaine, en même temps qu'ils aideront le conducteur à identifier les phénomènes auxquels ils est soumis et qu'il est susceptible, peu à peu, de contrôler.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANGIBOUST R., GERARDIN M., GOUARS M. et VEDEL - 1965. Fréquence cardiaque et surveillance visuelle. Revue médicale aéronautique française. 4.
- ASHTON M., SAVAGE R.D., TELFORD R., THOMPSON J.W. et WATSON D.W. - 1972. The effects of cigarette smoking on the response to stress in a driving simulator. Br. J. Pharmacol 45, 546-556, n° 3.
- BAKER J.S. - 1967. Single vehicle accidents on route 66. Journal of Criminal Law. Criminology and Police Science. 58 - 583-595.
- BARNI I., MARTINI P., MASSARI L. - 1964. Dislipidemia da Fatica mi Conducenti di auto veicoli. Boll. Soc. Ital. Brolog. 986-989.
- BARTLEY S.H., CHUTE E. - 1947. Fatigue and Impairment in Man. Mc GRAW Hill.
- BARTLETT F. - 1953. Psychological criteria of fatigue. in «Fatigue» ed. Floyd & Welford, p. 1 à 5.
- BERGER H. - 1929. Uber das Electroencephalogramm des Menschen Arch. Psychiatr. 87. 527-570.
- BJERNER B. - 1949. Alpha depression and lowered pulse rate during delayed actions in a serial reaction test. Acta physiol. Scand. 19, suppl. 65.
- BLAVIN - 1970. Le malade cardio-vasculaire au volant. Thèse de doctorat. Faculté de médecine de Strasbourg.
- BLOCH V. - 1965. Le contrôle central de l'activité électrodermale. Etude neurophysiologique et psychophysologique d'un indice sympathique de l'activité réticulaire. J. Physiol. Paris 57, suppl. n° XIII, p. 132.
- BROWN I.D. - 1965. Effect of a car radio on driving in traffic. Ergonomics 8. 475-479.
- BROWN I.D., POULTON E.C. - 1961. Measuring the spare «mental capacity» of car drivers by a subsidiary task. Ergonomics 4. 35-40.
- BROWN I.D. - 1965. A comparison of two subsidiary tasks used to measure fatigue in car drivers. Ergonomics 8. 467-473.
- BROWN I.D., TICKNER A.M., SIMMONDS D.C.V. - 1966. Effects of prolonged driving upon driving skill and performance of a subsidiary task. Industrial Medicine and Surgery 35,9. 760-765.
- BROWN I.D. - 1967. Decrement in skill observed after seven hours of car driving. Psychonomic Science. 131-132.
- BROWN I.D. - 1967. Car driving and fatigue Triangle. The sandoz Journal of Medical Science 8. 131-137.
- BUJAS Z., PETZ - 1954. Les modifications des ondes alpha au cours du travail mental prolongé. Le Travail Humain 17, 3-4, 201-206.
- BURNS N.M., BAKER C.A., SIMONSON E., KEIPER C. - 1966. Electrocardiogram changes in prolonged automobile driving. Perceptual and motor skills, 23, 210.
- CASE H.W., HULBERT S. - 1970. Effects of fatigue on skills related to driving. University of California. Los Angeles, Dept. of Engineering Report. 60-70.
- CHAPANIS A. - 1970. Relevance of physiological and psychological criteria to Man-Machine Systems : The present state of the Art. Ergonomics, 13. 337-346.
- CLEVELAND D.E., FRANKLIN W.C. - 1961. Rural Intersection and driver tension response. Texas Transportation Institute.
- CORNELL AERONAUTICAL LABORATORY - 1971. Research Trends : How fatigue degrades your driving skill.
- CRAWFORD A. - 1961. Fatigue and driving. Ergonomics 4. 143-154.
- CRESPY J. - 1972. Le guidage de la conduite, étude d'un système de guidage électronique. Cahier d'étude de l'ONSER n° 29.
- DAVIES D.R., KEKOVIC A. - 1965. Skin conductance, alpha activity and vigilance. Amer. J. Psychol. 78,2. 304-306.
- DEFAYOLLE M. - 1969. Application de la méthode des potentiels évoqués aux tâches de veille. Centre de recherches du service de santé des armées. Division de psychologie. Lyon.
- DUGGAR B.C. EPSTEIN E.N., KANTER E.H., WEENCE P., FOX - 1965. Monitoring of wakefulness-sleepiness and performance around normal bed time. Final Report, Contract PH 108. 65.176. Bio-Dynamics, Inc., Cambridge, Mass.
- DUKES-DOBOS F.N. - 1971. Fatigue from the point of view of urinary metabolites. Ergonomics 14, 1. 31-40.
- DUPUIS M. - 1965. Fortlaufende Pulsfrequenz Scheibung bei Kraftfahrern und ihre Interpretation. Proc. II Kong. J. Ges. K. Arbeitswissensch., Suppl. 3, 78.
- ELLINGSTAD V.S. et HEIMSTRA N.W. - 1970. Performance changes during the outstained operation of a complex motor task. Ergonomics 13.693-705.
- FLINN Colonel - 1965. Fonctionnal states of altered awareness. during flight. Aerospace Medicine june. 537-544.
- FORBES T.W., KATZ M.S., GUILLEN J.W., DETERLINE W.A. - 1957. Sleep deprivation effects on components of driving behaviour. Presentation at the Annual Meeting of American Psychological Association.
- GISCARD P.H. - 1966. Conduite automobile et sécurité. Cahier d'étude de l'ONSER n° Spécial.
- GRANDJEAN E., KOGI K. - 1971. Introductory remarks - in Methodology in Human Fatigue Assessment. ed. Hashimoto, Kogi et Grandjean.
- GREENSHIELDS B.D. - 1963. Driving behaviour and related problems. Highway Research Record 25.
- HAIDER M., SPONG P., LINDSLEY D.B. - 1964. Attention, vigilance and cortical evoked, potentials in humans. Science, July 10, 145, n° 3628. 180-182.
- HAIDER M. - 1965. Experimentelle Untersuchungen über Daueraufmerksamkeit und cerebrale Vigilanz bei einförmigen Tätigkeiten. Ztschr. r. exp. u. angew. Physiol. 1. 1-18.

- HAIDER M. — 1970. Neuropsychology of attention, expectation and vigilance in attention : contemporary theory and analysis. Appleton Centemp lefts.
- HARRIS W. MACKIE R. — 1972. A study of the relations among fatigue, hours of service and safety of operation of truck and bus drivers. Human Factors Research.
- HARTEMANN F., TARRIERE C. — 1965. Effets de l'oxyde de carbone et de la nicotine en conduite automobile. Cahier d'étude de l'ONSER n° 14.
- HEAD H. — 1923. The conception of nervous and mental energy (vigilance : a physiological state of the nervous system). Brit. J. Psychol. 14. 126-147.
- HEIMSTRA — 1970. The effects of «stress fatigue» on performance in a simulated driving situation. Ergonomics, 13, 2. 209-218.
- HERBERT M. and JAYNES W.C. — 1964. Performance decrement in vehicle driving. Journal of Engineering Psychology 3. 168.
- HOFFMAN VON H., HEIGERS W., STRUBEL H., QUEDNOW H., SCHNEIDER H.J. — 1962. Kreislaufuntersuchungen bei Kraftfahrzeugführern unter variierten fahrbedingungen. Zbl. Verkehrs-Med. 16. 192-233.
- HOLUBAR J. — 1960. Electroencephalographic manifestations of the stress galvanic reflex in man. Physiol. bohemo sloven 9, n° 6. 472-476.
- HORVATH St. M., DAHMS Th. G. et O'HANLON J. F. — 1971. Carbon monoxide and human vigilance. Arch. Environ Health. vol. 23.
- HULBERT S. — 1957. Drivers's GRS in traffic. Perceptual and motor skills, 7. 305-315.
- HULBERT S., WOJCIK C. — 1965. Research activities at the UCLA driving simulation laboratory. Highway Research News (17). 111-114.
- JOHANSSON G. et JANSSON G. — 1964. Smoking and night driving. Scand. J. Psychol. vol. 5.
- JONES B.F. FLINN R.H. and HAMMOND E.C. — 1941. Fatigue and hours of service of interstate truck drivers. U.S. Public Health Service Bull. n° 265. GPO.
- KALSBEECK — 1965. Mesure objective de la surcharge mentale, nouvelles applications de la méthode des doubles tâches. Le travail Humain, 1,2. 121-131.
- KALUGER N.A. et SMITH G.L. — 1970. Driver eye-movement patterns under conditions of prolonged driving and sleep deprivation. Highway Research Record 336. 92-106.
- KASHIWAGI S. — 1971. Psychological rating of human fatigue in Methodology in Human Fatigue Assessment. ed. Mashimoto, Kogi et Grandjean.
- KONDO T. — 1961. Recherches sur les réactions physiques et mentales des conducteurs de véhicules à moteur aux changements de condition de circulation. J. of Science of Labour, vol. 37, n° 5, p. 195.
- KONZ S. et Mc DOUGAL D. — 1968. The effect of background music on the control activity of an automobile driver. Human Factors 10 (3). 233-244.
- LACEY J.I., LACEY B.C. — 1970. Some autonomic-central nervous system interrelationship. Comm. pers.
- LAHY B. — 1937. Les conducteurs de poids lourds. Analyse du métier. Etude de la fatigue et organisation du travail. Le Travail Humain 5, 1. 35-54.
- LAUER A.R. and SUHR V.W. — 1959. The effect of a rest pause on driving efficiency. Percept. Mot. Skills, 9. 363-371.
- LAVILLE A. — 1968. Cadence de travail et posture. Le Travail Humain 31, 1-2. 73-94.
- LECRET F., PIN M.C. CURA J.B. et POTTIER M. — 1968. Les variations de la vigilance au cours de la conduite sur autoroute. Communication au 6ème Congrès de la SELF. Paris.
- LECRET F., POTTIER M. — 1969. Effet de pauses sur l'activité de conduite. Communication au 7ème Congrès de la SELF. Mondorf-les-Bains.
- LECRET F. et NIEPOLD R. — 1971. Modifications de la posture du conducteur de poids lourds. Communication au 9ème Congrès de la SELF. Lyon.
- LECRET F. — 1973. La conduite sur autoroute : effet de signaux lumineux sur le niveau de vigilance. Communication au 5ème Congrès International d'Ergonomie. Amsterdam.
- LILLE F., POTTIER M. et SCHERRER J. — 1968. Influence chez l'homme des niveaux d'activité mentale sur les potentiels évoqués. Revue neurologique, tome 118, n° 6. 476-480.
- LEPLAT J. — 1968. Attention et incertitude dans les travaux de surveillance et d'inspection. Dunod. Paris.
- LISPER M.O. DUREMAN I., ERICSSON et KARLSSON N.G. — 1971. Effect of sleep deprivation and prolonged driving on a subsidiary auditory reaction time. Accident Analysis and Prevention, 1. 335-341.
- LOOMIS D. — 1937. Human brain potentials during the onset of sleep. Haway Hobart.
- Mc FARLAND R.P. and MOSELEY A.L. — 1954. Human factors in highway transport safety. Boston (Mass.) Harvard School of Public Health.
- MACKWORTH N.H. — 1950. Researches on the measurement of human performance. Medical Research Council — Special Report 268.
- Mc NELLY G.W. — 1966. The development and laboratory validation of subjective fatigue scale. In «Industrial Psychology». ed. Tiffin & Mc Cormick.
- MAGOUN H.W. — 1960. Le cerveau éveillé. PUF. Paris.
- MALMO R.B. et SURVILLO W.W. — 1960. Sleep deprivation : changes in performance and physiological indicants of activation. Psychol. Monogr. 74, n° 15.
- MAST T.M., JONES H.V., HEIMSTRA N.W. — 1966. Effects of fatigue on performance in a driving device. Highway Research Record. 122-93.
- MEZZASALMA G., SEVERGNINI B. — 1969. La radio-électrocardiografia nei piloti di automobili sur circuit sperimentali. Esperienze preliminare. Minerva Cardioangiologica 15. 447-452.
- MICHAELS R.P. — 1960. Engineering and psychological uses of a driving simulation. Highway Research Board Bulletin 261.
- MICHAELS R.M. — 1962. Effect of express way design on driver tension responses. Highway Research Board Bulletin 330.
- MICHAUT G. — 1968. Conduite automobile et charge mentale. Cahier d'Etude de l'ONSER. n° 18.
- MICHAUT G. — 1969. Les simulateurs de conduite automobile. Revue Bibliographique Critique. ONSER. Publ. interne.
- MICHAUT G. et POTTIER M. — 1964. Etude du comportement des conducteurs d'automobile : conduite en situation monotone. Cahier d'Etude de l'ONSER. n° 8.
- MICHON A. — 1964. A note on the measurement of perceptual motor load. Ergonomics 7, 4. 461-463.

- MURRELL K.F.H. — 1965. Le concept de fatigue une réalité ou une gêne. Bull. CERP XIV — 1-2, pp. 103-110.
- MURRELL K.F.H. — 1967. Performance differences in continuous tasks. In Attention and Performance 427-435.
- O'HANLON J. — 1971. Heart rate variability : a new index of driver alertness fatigue. Human Factors Research.
- PARROT J., BAUMSTIMLER Y. — 1965. Evolution du clignement palpébral au cours de l'exécution prolongée d'une tâche d'attention visuelle soutenue : distribution temporelle, relation avec d'autres variables physiologiques et avec la performance. Communication au 3ème Congrès de la SELF. Paris.
- PEARSON R.G. — 1957. Scale analysis of a fatigue check list. J. Appl. Psychol. 41. 186-191.
- PIERON H. — 1934. L'attention in : Dumas éd. : Nouveau Traité de Psychologie. PUF.
- PIN M.C. — 1966. Application de techniques électrophysiologiques à l'étude de la conduite automobile. Cahiers d'Etude de l'ONSER 15.
- PIN M.C., LECRET F. POTTIER M. — 1969. Les niveaux d'activation de différentes situations de conduite. Cahiers d'Etude de l'ONSER n° 19.
- PLATT F.N. — 1964. A new method of measuring the effects of continued driving performance. Human Factors 6. 351-358.
- POFFENGERGER A.T. — 1928. Effects of continuous work upon output and feelings. Journal of Applied Psychology 12. 459-467.
- POTTS C.R. — 1954. A study of long haul truck operations. in Mc Farland an Moseley.
- POTTIER M. — 1966. Etude de l'électro-encéphalogramme au cours du travail musculaire statique continu chez l'homme. Le Travail Humain, 2. 43-56.
- PRESTON B. — 1969. Insurance classifications and driver's galvanic skin response. Ergonomics 12. 437-446.
- PREUSCHEN G. — 1963. Die kreislauf belastung beim führen von kraftfahrzeugen. Sekt. Chronik. ACS (Zürich) 47, 4. 39.
- PROKOP O. et PROKOP L. — 1955. Ermüdung und Einschlafen am Steuer. Deutsche Zeitschrift für Gerichtliche Medizin Bul. 44. 343-355.
- RUTLEY K.S. et MACE D.G.W. — 1972. Heart rate as a measure in road layout design. Ergonomics, 15, 2. 165-173.
- RYAN A.M. and WARNER H. — 1936. The effect of automobile driving on the reaction of drivers. American Journal of Psychology 48. 403-421.
- SAFFORD R.R., ROCKWELL T.H. — 1967. Performance decrement in 24 hours driving. Highway Research Record 163.
- SCHERRER J. — 1962. Problèmes physiologiques posés par la fatigue. Le Travail Humain XXV, n° 1-2. 305-308.
- SCHIFLETT S.G., CADENA D.G., MEMION R.H. — 1969. Headlight glare effects on driver fatigue. Final Report on Phase II of a study for the Bureau of Public Road. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- SELYE — 1936. Stress. Mac Graw Hill.
- SHAW W.J. — 1958. Objective measurement of driving skill. Traffic Safety Research Review, vol. 4.
- SHOR R.G. et THACKRAY R. — 1970. A program of research in «Highway Hypnosis» : a preliminary report. Acc. An. and Prev., vol. 2, 103-109.
- SPERANDIO J.C. — 1972. Charge de travail et variations des modes opératoires. Thèse de doctorat d'Etat ès lettres et Sc. Humaines. Paris.
- STIKAR J. HOSKOVEC J. et BIEHL B. — 1971. Drivers pulse frequency in skidding. Acc. Anal. and Prev. vol. 3. 89-94.
- SUENAGA K., GOTO K. et SUENAGA H. — 1967. Study of EEG of bus drivers while driving and at rest. Kuruke Medical Journal 14.43-48.
- SUHR V. — 1959. Final report of study on the effect of a periodic refreshment pause on simulated automobile driving performance efficiency. Highway Research Board Bulletin 212.
- SUSSMANN E.D., MORRIS D.F. — 1970. An investigation of factors affecting driver alertness. Cornell Aeronautical Laboratory. Tech. Rep. VJ 2849.13.1.
- TADATAKA F., TAMOTSU M., TSUTOMU A., AKIRA T., SHIGEO S., TOSHIHIDE S., TOSHINBU K., HIROO K. and KEIJI. N. — 1963. Investigation of fatigue conditions in all-night automobile driving. Shikoku Acta Medica, vol. 19.
- TAGGART P. et GIBBONS D. — 1967. Motor-car driving and the heart rate. Brit. M.J. 1-411.
- TARRIERE C. — 1960. Un moyen d'étude des accidents impliqués. l'épreuve de vigilance. Thèse de doctorat en médecine. Faculté de Paris.
- TARRIERE C., WISNER A. — 1962. Effets des bruits significatifs et non significatifs au cours d'une épreuve de vigilance. Le Travail Humain, 25, 1,2. 1-28.
- TARRIERE C. — 1963. La vigilance : données objectives et subjectives. Cahier d'Etude de l'ONSER n° 6.
- TAYLOR D.H. — 1964. Drivers gavanic skin response and the risk of accident. Ergonomics 7' 4. 439-451.
- VEIL C., VEIL-BARAT C., ROY-GIROULT M. et SABLIERE M. — 1972. Fatigue et monotonie. in Traité de Psychologie Appliquée T. 3 ch 4. p. 173-219.
- VILLARET J.M., MATALON B. — 1969. Représentations, comportements et attitudes des conducteurs avant un long trajet. Cahier d'Etude de l'ONSER n° 22.
- WALTER D.O. RHODES J.M. et ADEY W.R. — 1965. Discrimination among states of consciousness by EGG measurements. (preprint).
- WILLIAMSH.L., LUBIN A. et GOODNOW J.J. — 1959. Impaired performance with acute sleep loss. Psychol. Monogr. 73, n° 14.
- WISNER A. — 1970. Les critères d'évaluation de la charge mentale dans les systèmes homme-machine. 4ème Congrès International d'Ergonomie. Strasbourg.
- WOLF G. — 1967. Construct validation of measures of three kinds of experimental fatigue. Perceptual and Motor Skills, 24. 1067-1076.
- YOSHITAKE H. — 1971. Relations between the symptoms and the feeling of fatigue. in Methodology in Human Fatigue Assessment. ed. Hashimoto, Kogi et Grandjean.