

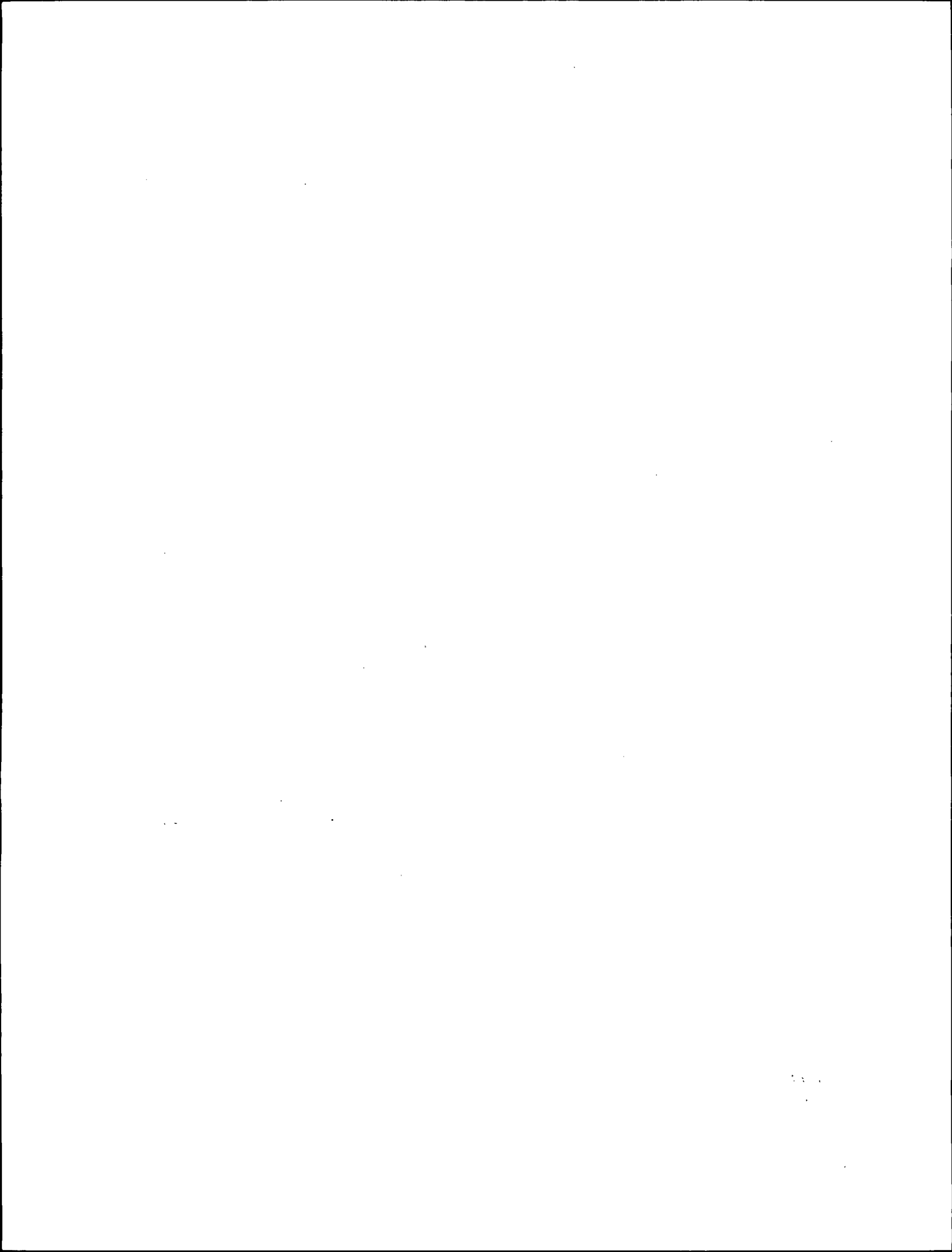
ORGANISME  
NATIONAL DE  
SÉCURITÉ  
ROUTIÈRE

CORRÉLATIONS  
ENTRE DONNÉES  
DE VIGILANCE  
OPÉRATIONNELLE  
ET PHYSIOLOGIQUE

cahiers d'etudes no 5

*Bulletin n° 16*  
*Août 1966*

CDAT  
15062



# RECHERCHE DE CORRÉLATIONS ENTRE DONNÉES DE VIGILANCE OPÉRATIONNELLE ET PHYSIOLOGIQUE

## L'électroencéphalographie comme source d'informations sur l'évolution de l'efficiencce du conducteur

C. TARRIÈRE  
F. HARTEMANN  
M. NIARFEIX

*L'étude dont on va lire un compte rendu de synthèse a été exécutée au Laboratoire de Physiologie et de Biomécanique de la Régie Nationale des Usines Renault pour le compte de l'O.N.S.E.R.*

### RÉSUMÉ

Jusqu'à quel point le degré d'efficacité de sujets effectuant une tâche de surveillance analogue à la conduite automobile monotone est-il lié au niveau d'activation de leur système nerveux central et sous quels aspects l'électro-encéphalographie constitue-t-elle une technique appropriée pour mesurer le niveau d'activation et pour en suivre les fluctuations au cours d'une durée prolongée? Telles sont les questions auxquelles cette étude vise à répondre.

L'exploitation des tracés E.E.G. recueillis sur 126 sujets soumis à une tâche de surveillance visuelle de deux heures et demie est essentiellement centrée sur l'analyse des rythmes alpha; les rythmes plus lents étant extrêmement rares. On vérifie, en une première étape, que l'E.E.G. est sensible aux effets d'un facteur tel que le tabac, dont on avait antérieurement constaté qu'il élevait le niveau d'activation des sujets, par rapport au niveau qu'ils présentaient lorsqu'ils effectuaient la tâche sans fumer depuis la veille de l'expérience. Or l'E.E.G. rend bien compte de cette différence; privés de tabac, les sujets présentent, pendant toute la durée de l'épreuve, des tracés où la densité de l'alpha est plus forte que lorsque les sujets fument; l'amplitude de l'alpha est également plus grande, la fréquence (en cycles-seconde) est moins élevée.

Dans une seconde phase, on met en relation les informations données par l'E.E.G. et les performances accomplies par les sujets à la tâche de surveillance. On remarque que les sujets dont la densité des tracés en alpha est la plus forte ont une performance inférieure aux autres. De même, au cours du déroulement de la tâche, la probabilité de détection d'un signal diminue s'il survient en concomitance avec une bouffée d'alpha.

Si on analyse plus en détail cette relation entre E.E.G. et performance, on remarque que celle-ci est en corrélation assez bonne (0,37) avec l'amplitude de l'alpha. La densité des rythmes alpha et leur fréquence en cycles par seconde n'a pas pu faire l'objet de calculs des corrélations équivalentes. D'une part, les mesures de densité telles que nous les avons effectuées sont moins précises que les mesures d'amplitude. D'autre part, l'absence de corrélation entre la performance et la fréquence de l'alpha en cycles par seconde ne signifie pas pour autant que ce dernier indice n'est pas un critère sensible du niveau d'activation. Ce n'est pas la fréquence absolue qui caractérise le degré d'activation des sujets (la fréquence est une caractéristique individuelle pouvant prendre selon les sujets une valeur de 8 à 12 c/s) mais la variation de cette fréquence pour chaque sujet correspond à une variation d'activation.

S'il existe une cohérence globale entre les indices d'activation et s'il existe une certaine liaison entre le degré d'élévation du niveau d'activation et l'efficacité de la surveillance exercée, leur inter-corrélation n'est cependant pas très étroite et ceci indique que le niveau de vigilance physiologique n'est pas le seul facteur à conditionner l'efficacité de la surveillance. Ceci est confirmé par le fait que la supériorité de la performance réalisée par les sujets « introvertis » sur les « extravertis » ne s'accompagne pas d'une différence de niveau d'activation qui soit discernable par l'E.E.G.

C'est probablement à des différences d'orientation de l'attention qu'il faut faire appel pour expliquer ce qui échappe au critère de l'activation. C'est-à-dire que les variations d'efficacité de la surveillance, à niveau constant d'activation, sont sans doute la conséquence de changements d'orientation de l'attention qui se porte, à une fréquence et pendant des durées variables, vers des stimuli autres que les signaux à détecter.

## SUMMARY

This study aims to answer the following questions:

To what degree is the efficiency of subjects carrying out a vigilance task analogous to the monotonous driving of an automobile in connection with the activation level of their central nervous system and under what aspects would electro-encephalography constitute an appropriate technique of measuring the activation level and of following its fluctuations for a prolonged period.

The utilisation of E.E. graphs received from 126 subjects submitted to a visual vigilance task for two and a half hours is essentially centred on the analysis of alpha rythms, slower rythms being extremely rare. During the first stage, the sensitiveness of E.E.G. to the effects of a factor such as tobacco, which was previously found to raise the activation level of the subjects in comparison with the level they had when doing this task without having smoked since the day before the experiment. In fact, the E.E.G. clearly indicates the following difference: the graphs of the subjects deprived of tobacco show during the whole time of the test higher alpha density than when the subjects smoke; the alpha amplitude is also greater and the frequency (in cycles/second) is lower.

During the second stage, the information given by the E.E.G. is compared with the performances carried out by the subjects in their vigilance task. It is noticeable that the subjects having the denser alpha graphs have a performance which is inferior to that of the others. Similarly, in the course of the carrying out of the task, the probability of detecting a signal decreases, if it arrives concomitantly with a flow of alpha.

If a more detailed analysis is given of the connection between the E.E.G. and the performance, it is noticed that the latter is in fairly good correlation (.37) with the alpha amplitude. The density of alpha rythms and their frequency in cycles per second were not calculated for equivalent correlations, because, on one hand, measures of density such as we had carried them out are less precise than measures of amplitude, on the other hand, the absence of correlation between the performance and the alpha frequency in cycles per second does not in any way mean that this last indication is not a sensitive criterion of the activation level. It is not the absolute frequency which characterises the degree of activation of the subjects (the frequency is an individual specification which can have, according to the subject, a value of 8 to 12 cycles/second), but a variation of this frequency for each individual subject corresponds to a variation of activation.

If there does exist a total coherence between the activation indexes and if a certain connection does exist between the degree of elevation of the activation level and the efficiency of the vigilance carried out, the correlation between them is not however very close and this indicates that the level of physiological vigilance is not the only factor to govern the efficiency of the vigilance. This is confirmed by the fact that the superiority of the performance realised by "introverted" subjects over those who are "extraverted" is not accompanied by a difference of the activation level which can be appreciated by the E.E.G.

What remains unexplained by the activation criterion is probably to be found in differences in the focusing of the attention, that is to say that the variations in efficiency of the vigilance at a constant level of activation are doubtless the consequences of changes in the focusing of the attention, which is drawn at varying frequencies and for various lengths of time to other attractive points than the signals to be detected.

## TABLE DES MATIÈRES

---

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCTION .....                                                                                          | 7  |
| I. — GÉNÉRALITÉS.....                                                                                       | 9  |
| 1. — Insuffisance des seuls critères opérationnels.....                                                     | 9  |
| 2. — Arguments en faveur de la théorie de l'activation.....                                                 | 10 |
| II. — RAPPEL DE L'EXPÉRIENCE.....                                                                           | 13 |
| III. — RÉSULTATS.....                                                                                       | 14 |
| 1. — Observations générales sur les tracés obtenus en situation de<br>conduite monotone.....                | 14 |
| 2. — Valeur de l'E.E.G. comme critère d'effcience du conducteur.....                                        | 18 |
| 3. — Degrés de cohérence des critères physiologiques entre eux et avec<br>la performance .....              | 26 |
| IV. — DISCUSSION .....                                                                                      | 26 |
| 1. — Variétés des signes électroencéphalographiques rencontrés en simu-<br>lation de conduite monotone..... | 26 |
| 2. — Rapidité des fluctuations de l'état vigile.....                                                        | 27 |
| 3. — Signification fonctionnelle de l'alpha.....                                                            | 28 |
| 4. — Intérêt et limites de l'activation comme critère d'effcience.....                                      | 30 |
| CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....                                                                                  | 33 |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                                                                         | 35 |

510. 71 718

## INTRODUCTION

Le développement des recherches dans le domaine de la vigilance a conduit à distinguer une notion de vigilance opérationnelle, appréciée par la performance des sujets à une tâche monotone, et une notion de vigilance physiologique ou neurophysiologique qui exprime un certain état de l'organisme des sujets, hors de toute référence à l'efficacité dont ils font preuve; état dont les fluctuations sont mesurées à l'aide d'enregistrements essentiellement bioélectriques.

Jusqu'à présent les rapprochements entre vigilance opérationnelle et vigilance physiologique ont été surtout théoriques, d'autant plus spéculatifs que les données neurophysiologiques de référence ont été le plus souvent obtenues chez l'animal. Cependant, parmi les hypothèses explicatives présentées par les psychologues pour rendre compte de la dégradation de la performance au cours du temps dans les tâches de surveillance, l'hypothèse de l'activation a souvent été évoquée (DEESE 1955, BROADBENT 1963). Selon cette dernière, l'activité générale de l'organisme dépendrait du niveau de stimulation dont il est l'objet. Se référant aux récents développements de la neurophysiologie et aux expériences de privation sensorielle (BEXTON, HERON et SCOTT 1954; HERON 1961), ces auteurs suggèrent que les situations monotones favorisent la désactivation de l'organisme par la rareté et le manque de variété des stimulations. Cette hypothèse s'accorde bien avec ce que l'on sait de l'influence de certaines caractéristiques des signaux : la dégradation de l'efficacité au cours du temps est en effet d'autant plus accusée que les signaux sont plus rares et moins intenses.

Si nous essayons d'expliquer la survenue de telles « désactivations » du système nerveux en nous référant aux bases neurophysiologiques connues de la régulation de l'état vigile, on préjuge du support physiologique des processus de vigilance et d'attention. En fait, on donne alors au terme « vigilance » une acception qui l'apparente au niveau d'éveil généralisé de l'organisme. L'état de vigilance est alors assimilé à un état fonctionnel permettant les activités nerveuses perceptuelles, motrices et intégratrices avec toutes qualités de plasticité que suppose la finesse des discriminations et des adaptations.

Une expérience attribuée à FLUSTER pose assez bien le problème des rapports entre la vigilance opérationnelle et la vigilance cérébrale. Elle est réalisée sur des singes « chroniques », c'est-à-dire porteurs d'électrodes implantées à demeure dans différentes structures cérébrales et conditionnés à reconnaître des images tachytoscopiques.

L'auteur montre qu'une stimulation électrique effectuée dans des conditions physiologiques (voltage, fréquence et durée des stimulations) de certains noyaux réticulaires du tronc cérébral diminue la durée des temps de reconnaissance des formes présentées au singe. Ainsi une augmentation du niveau d'éveil cérébral améliore la qualité du travail mental. BREMER (1962, conférence non publiée), qui rapporte cette expérience, en rapproche le résultat du fait que l'avertissement de la présentation d'un signal (mise en alerte) diminue, chez l'homme, la durée des temps de réaction.

De la même façon, on peut par stimulation électrique directe d'un même noyau cellulaire, et en fonction des caractéristiques de la stimulation, obtenir tous les stades électriques de l'éveil au sommeil profond (CASPER 1954 chez le rat).

En fait, bien que la tentation soit grande, il n'est pas possible de confondre les mécanismes des modifications d'efficacité dans les tâches mobilisant l'attention continue des sujets, avec les mécanismes de la régulation de l'état vigile. Ce serait simplifier grossièrement la nature des processus mis en jeu dans les tâches de vigilance que de les réduire à un modèle, aussi raffiné soit-il, de l'activité cérébrale. Cependant, de tels modèles existent (BREMER 1954; HUGELIN et BONVALLET 1957; JOUVET et Coll. 1957, 1958, 1959, 1960), et il est tout aussi impossible de les ignorer.

Est-on alors condamné à juxtaposer plus ou moins artificiellement deux chapitres — vigilance cérébrale et vigilance opérationnelle — comme l'un de nous le fit dans sa thèse (TARRIERE 1960) ou bien ne doit-on pas plutôt tenter d'établir quelques connexions en utilisant les informations sans doute limitées mais précieuses de l'électro-encéphalographie pour évaluer le niveau d'activité global du système nerveux?

De telles connexions commencent à s'établir. HAIDER (1963) montre que la fréquence de l'EEG (dans la gamme de fréquence inférieure à 12 Hz) pour les trois secondes qui précèdent la survenue d'un signal est significativement plus ralentie quand ce signal n'est pas détecté (signaux détectés : 8,9 Hz; signaux non détectés : 5,6 Hz). Une corrélation de  $-0.41$  est observée entre la fréquence de l'électro-encéphalogramme mesurée dans la seconde qui précède la survenue du signal et le temps de réaction du sujet.

HAIDER, SPONG et LINDSLEY (1964) intégrant les potentiels évoqués <sup>1</sup> à des stimuli visuels (flashes lumineux) mettent en évidence une forte corrélation entre le pourcentage de signaux détectés et l'amplitude des potentiels évoqués (+. 75), ou leur latence (— . 75).

Pour les signaux critiques (auxquels les sujets doivent répondre), l'amplitude des potentiels évoqués intégrée pour un nombre égal de signaux détectés et non détectés est également très différente, très nettement diminuée pour les signaux non détectés.

SPONG, HAIDER, LINDSLEY (1965) montrent encore que les potentiels évoqués visuels sont plus importants que les potentiels évoqués auditifs (et réciproquement) selon que l'attention est orientée vers la stimulation visuelle ou auditive.

Ces corrélations relatives à l'activité cérébrale permettent d'attribuer une signification plus précise aux relations observées entre la vigilance opérationnelle et diverses évaluations du niveau d'activation générale de l'organisme (fréquence cardiaque et conductance cutanée plus particulièrement).

Ainsi les données physiologiques déjà disponibles ne permettent guère de douter de la dépendance existant entre la vigilance opérationnelle et la vigilance cérébrale. Cependant cette dépendance n'est que relative, c'est-à-dire que le seul niveau d'activation ne suffit pas à permettre la prédiction de la performance. Ainsi, à niveau d'activation égal, on peut penser que la possibilité de disperser son attention (distraction) affecte grandement la performance. Les différences interindividuelles dont la cause la plus importante est probablement le degré d'introversion des sujets sont si importantes qu'il est peu probable qu'elles se confondent uniquement avec des différences d'activation du système nerveux central.

Ce sont donc en quelque sorte les limites de validation de cette théorie qu'il convient de préciser. C'est l'objet principal assigné à la présente étude.

Dans les perspectives appliquées qui sont les nôtres, l'objectif n'est pas seulement d'ordre spéculatif. Mieux préciser les mécanismes en jeu, expliciter les modalités d'intervention des facteurs qui influencent la vigilance, c'est se donner des chances supplémentaires d'assurer une prévention plus efficace des défaillances humaines et des accidents dont elles sont la cause.

---

(1) On appelle potentiel évoqué l'enregistrement électrique du message nerveux lors de son arrivée en un endroit déterminé du système nerveux ; il s'agit ici de potentiels évoqués enregistrés au niveau du cortex visuel.



# I. - GÉNÉRALITÉS

## 1. - INSUFFISANCE DES SEULS CRITÈRES OPÉRATIONNELS

L'évolution du niveau de vigilance au cours de tâches longues et monotones exigeant la détection de signaux faibles, peu fréquents et de localisation aléatoire dans l'espace et le temps, a été surtout analysée par l'évolution de la performance moyenne d'un échantillon de sujets soumis à ces tâches en laboratoire.

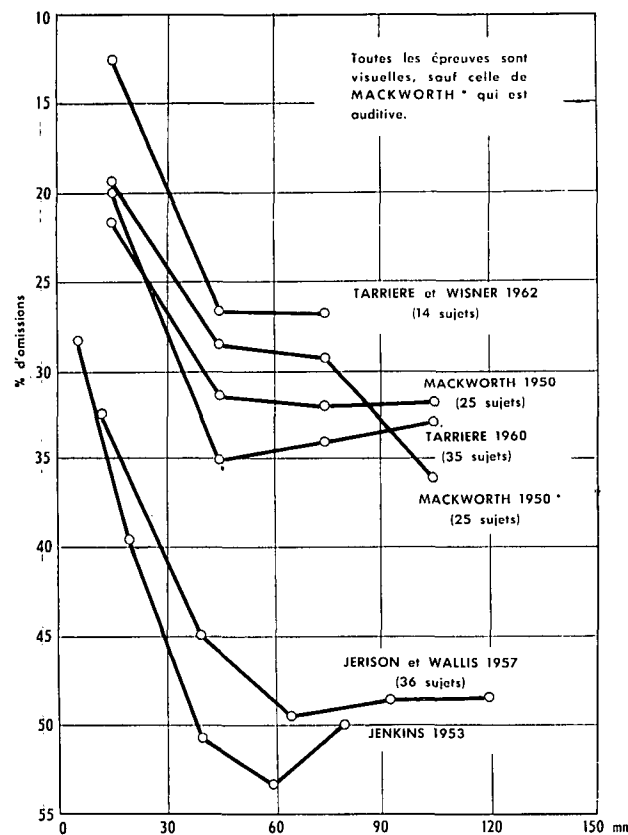


FIG. 1. — Courbes provenant de différents Laboratoires et illustrant la dégradation de la performance au cours d'épreuves de vigilance

Le résultat le plus souvent retrouvé (fig. 1) est une dégradation du niveau de vigilance survenant entre la 1<sup>re</sup> et la 2<sup>e</sup> demi-heure de travail et suivie d'une stabilisation au cours des demi-heures suivantes (MACKWORTH 1950, JENKINS 1953, JERISON et WALLIS 1957, TARRIERE ET WISNER 1960), stabilisation que des expériences de plus longue durée semblent d'ailleurs remettre en question (TARRIERE et HARTEMANN 1965) (fig. 2).

En fait, cette évolution de l'efficacité n'est pas aussi schématique que les courbes classiques la font apparaître (fig. 1); JERISON (1957, 1958) montre en

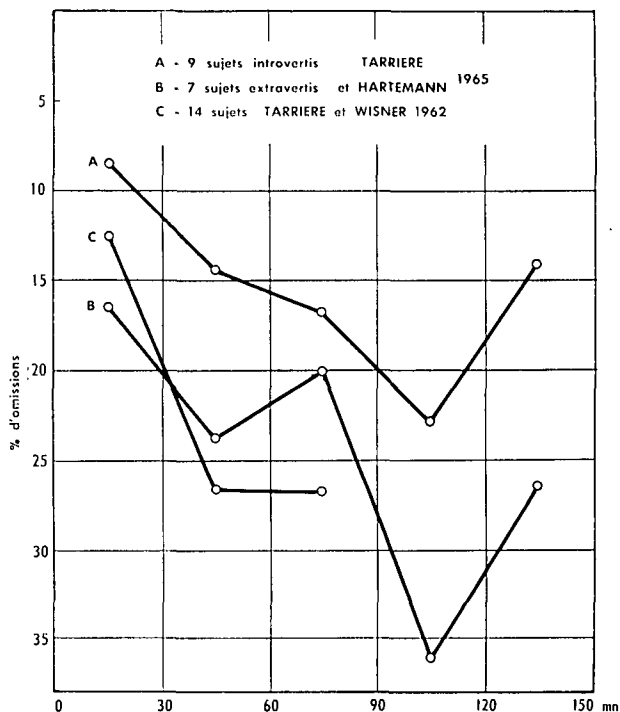


FIG. 2. — Évolution de la vigilance pendant des épreuves très prolongées. C est donnée comme référence d'épreuve de plus courte durée.

effet que la dégradation est progressive, qu'elle commence dès les premières minutes de la tâche de surveillance et qu'elle s'étend sur une période plus ou moins longue (fig. 3).

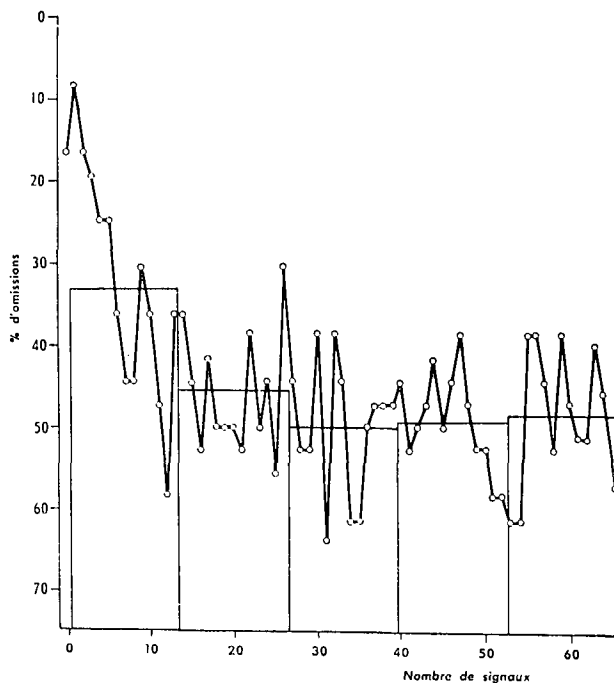


FIG. 3. — Analyse détaillée de l'évolution de la vigilance. Jerison et Wallis 1957 (données correspondant à la courbe de ces auteurs figure 1).

L'évolution moyenne ainsi décrite est influencée par de nombreux facteurs : durée prévue de l'épreuve (JERISON 1958), caractéristiques des signaux et de la tâche (LEPLAT 1962 présente une revue de ces facteurs), période de la journée (JENKINS 1958, TARRIERE et WISNER 1962), environnement sonore (JERISON 1959, BROADBENT 1953, 1957, TARRIERE et WISNER 1962 et 1964), influence de drogues : amphétamines (MACKWORTH 1950), caféine (BAUMSTIMLER et Coll. 1963), tabac (TARRIERE et HARTEMANN 1965).

L'interprétation des performances réalisées en présence de ces facteurs est difficile. Cela vient surtout de ce que la variable « dépendante », constituée par les réponses des sujets aux signaux présentés, est très grossière; susceptible de ne prendre que deux valeurs (le signal est vu ou non), elle est en outre discontinue dans le temps (les réponses sont rares, comme les signaux). Dans ces conditions, l'information obtenue sur le comportement du sujet est extrêmement pauvre. Que fait-il entre l'apparition de deux signaux? Quand il omet un signal était-il près de le détecter ou très loin de pouvoir le faire? A défaut d'informations complémentaires, on en est réduit à des hypothèses dont les vérifications ont toujours été précaires.

Certains auteurs, conscients de la difficulté et choisissant de perdre une part supplémentaire de l'information, renoncent à analyser l'évolution de la vigilance et ne considèrent que le niveau global de la performance (fréquence moyenne de détection ou rapport du nombre de signaux détectés sur le nombre de signaux présentés).

De telles procédures ne présentent pas seulement l'inconvénient de fournir peu d'informations, elles peuvent aussi conduire à des conclusions erronées et à un choix inapproprié d'aménagements de la tâche : ainsi une baisse de vigilance provoquée par la distraction se manifeste par une performance absolument identique à celle qui résulte d'une baisse de vigilance par suite d'assoupissement. Or, ces deux causes ne nécessitent pas le même remède.

Par ailleurs, les tâches de vigilance sont encore caractérisées par la grande variabilité interindividuelle des performances. De grands échantillons sont nécessaires pour révéler l'existence de lois générales. Le petit nombre des informations utilisées pour déterminer une performance individuelle (15 à 20 signaux à l'heure par exemple) suffit à faire comprendre la difficulté qu'il y a à comparer entre elles les performances individuelles des sujets. Là encore, en ne considérant que la seule performance, l'analyse et l'interprétation de l'évolution de la performance individuelle sont hasardeuses.

L'utilité du recours à d'autres critères apparaît donc justifiée.

Avant qu'il ne soit procédé à l'enregistrement de l'électro-encéphalogramme, de nombreux auteurs ont cherché une aide dans l'enregistrement de variables physiologiques plus faciles à mettre en œuvre ou à exploiter : fréquence de clignements des paupières (CARPENTER 1948), motilité spontanée des sujets (BAKER 1958), résistance électrique cutanée (ROSS et Coll. 1959; PERRET 1964), fréquence cardiaque (KIRIHARA 1961; HAIDER 1963; PERRET 1964; TARRIERE et HARTEMANN 1965; ANGIBOUST 1965 MICHAUT, 1964).

Pour la majorité de ces chercheurs, l'enregistrement des variables physiologiques présentait de plus l'intérêt important de laisser espérer quelques acquisitions propres à éclairer la relation vigilance opérationnelle — vigilance physiologique.

Les résultats obtenus par cette approche physiologique seront discutés plus loin en les confrontant avec les données électro-encéphalographiques. Auparavant, présentons les arguments qui, avant toute exploration physiologique, apparaissent en faveur de la théorie dite de l'activation, arguments acquis pour une part par les méthodes les plus classiques de la psychologie expérimentale.

## 2. - ARGUMENTS EN FAVEUR DE LA THÉORIE DE L'ACTIVATION

De nombreux faits plaident en faveur de la théorie de l'activation, certains étant fournis par l'expérimentation psychologique proprement dite, d'autres provenant de l'observation et de l'interview.

### Arguments apportés par la psychologie expérimentale :

1<sup>o</sup> L'aide apportée au maintien de la vigilance par les signaux dits artificiels constitue un premier signe du rôle joué par le niveau d'activation dans l'efficacité d'une tâche de surveillance. De tels signaux, indépendants des signaux de la tâche, favorisent la détection des signaux critiques, surtout si on les utilise pour renseigner le sujet sur la valeur de ses détections à ces signaux artificiels. Il va de soi que ce bénéfice apporté à l'exécution de la tâche est le fait des stimulations produites par cette modalité particulière d'accomplissement de la surveillance, en d'autres termes il est le résultat d'une élévation du niveau d'activation du sujet (WALLIS 1958; GARVEY 1959; BAKER 1960; FAULKNER 1962).

2<sup>o</sup> Les tâches de surveillance sont considérées comme étant les plus sensibles à la privation de sommeil (WILKINSON 1959 et 1960; BAUMSTIMLER, WITTERSHEIM, GRIVEL, CUBAYNES et PARROT 1963) et d'autant plus sensibles que le sujet est moins actif (fig. 4).

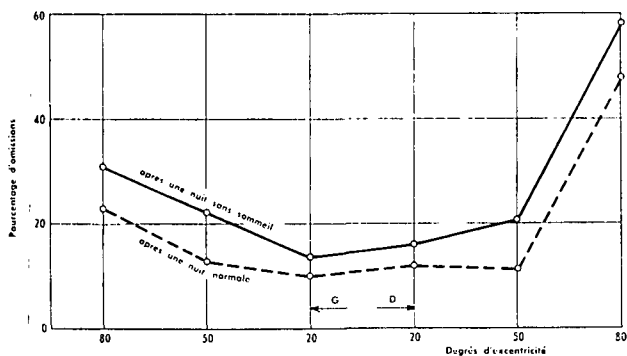


FIG. 4. — Influence de la position des signaux et du sommeil fréquence des omissions. (d'après METZ et BAUMSTIMLER)

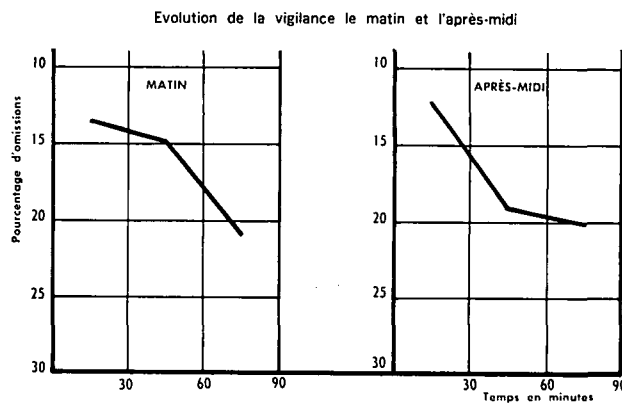


FIG. 5. — Évolution de la vigilance le matin et l'après-midi.

3° Le moment de la journée n'est pas indépendant de la qualité de la surveillance exercée (JENKINS 1958; TARRIERE et WISNER 1962). Cette relation ne peut s'établir que par l'intervention des variations de niveau d'activation au cours du cycle nyctéméral (fig. 5).

4° Le mode d'intervention des drogues suggère aussi l'existence d'un lien entre vigilance opération-

nelle et vigilance physiologique. Les amphétamines (MACKWORTH 1950), la caféine (BAUMSTIMLER et Coll. 1963), la nicotine contenue dans la fumée de tabac (TARRIERE et HARTEMANN 1965) permettent d'éliminer toute dégradation de l'efficacité des sujets au cours du travail ou tout au moins de la maintenir à un niveau plus élevé que celui atteint en absence de drogue stimulante (fig. 6).

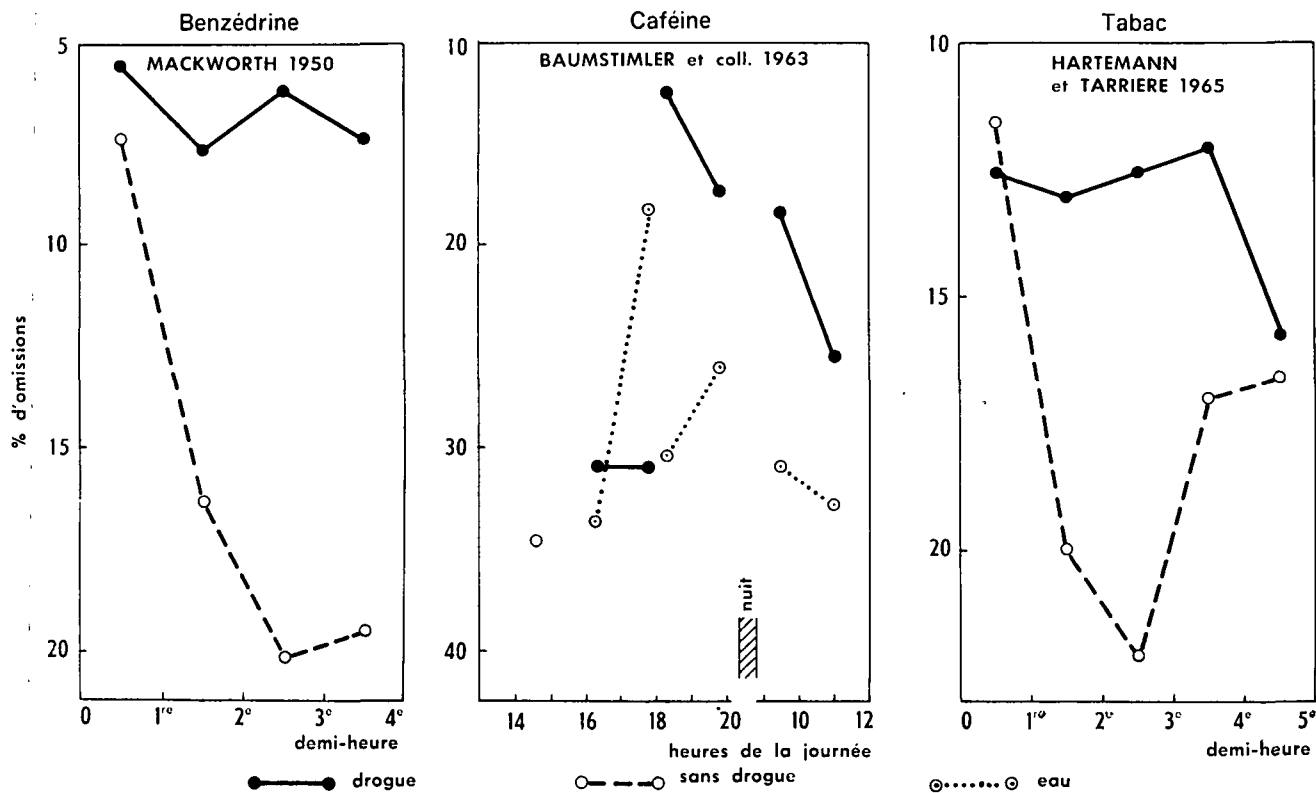


FIG. 6. — Effet des drogues sur la vigilance.

5° De même certains environnements stimulants, malgré l'effet de distraction qu'ils entraînent, améliorent l'efficacité dans les tâches de surveillance. Il en est ainsi d'ambiances sonores telles qu'un programme de musique ou d'histoires humoristiques. A l'opposé une ambiance sonore monotone (bruit de moteur régulier et continu) après un effet transitoire de stimulation exerce un effet défavorable à la manière d'une inhibition (TARRIERE et WISNER 1962 et 1964) (fig. 7).

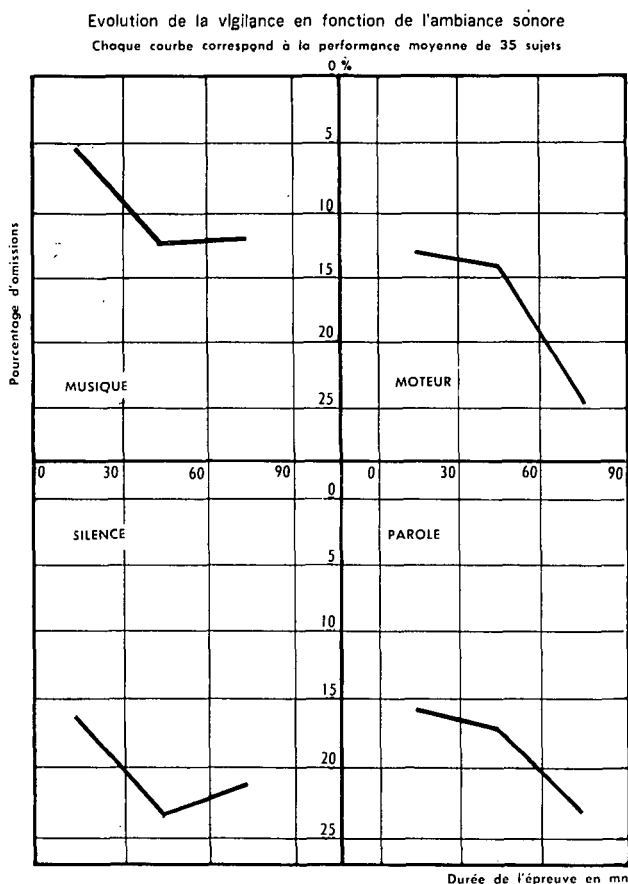


FIG. 7.

#### Arguments apportés par observation et interview.

MAC FARLAND (1954-1955) par enquêtes effectuées auprès des conducteurs de camions put établir la grande fréquence des hallucinations au volant au cours de brefs assoupissements chez des conducteurs soumis à de sévères conditions de travail. La fréquence des hallucinations diminuait considérablement quand, pendant une certaine période, la longueur de la journée de travail se trouvait réduite.

Citons aussi une étude statistique américaine attribuant 9 % des accidents de la route à l'endormissement.

D'autres faits tels que la répartition des accidents dans la journée de travail (MUSCIO 1920 et VERNON 1936 cités par WISNER 1961) ou encore le nombre des accidents de la route inexplicables survenant en ligne droite et sans collision (TARRIERE 1960 et 1964) suggèrent l'existence de défaillances impliquant certains mécanismes nerveux centraux, en particulier les mécanismes du maintien de l'éveil.

Des données subjectives recueillies par interview systématique de 65 sujets après passation de 170 épreuves de vigilance d'une durée variable de 90 à 120 minutes devaient permettre de préciser nos hypothèses quand à l'existence d'un lien entre une baisse d'efficacité et certaines défaillances du système nerveux central.

Ces interviews révélaient en effet la survenue plus ou moins fréquente selon les sujets d'états de « déconnexion » avec le réel, ressentis comme de brèves périodes de baisse de vigilance voire d'assoupissement. Ces défaillances ne sont pas exceptionnelles puisque 70 % des sujets font état de baisse d'attention et 30 % sont victimes d'assoupissements; la fréquence des assoupissements est beaucoup plus élevée en situation monotone (silence ou bruit de moteur continu) qu'en situation plus stimulante (audition d'un programme de musique ou d'histoires drôles) (fig. 8). Par ailleurs le nombre des erreurs à la tâche de surveillance est plus élevé chez les sujets qui se sont déclarés victimes de baisses d'attention et d'assoupissements. Ainsi le maintien d'un haut niveau d'efficacité en situation de vigilance semble bien s'apparenter à une lutte pour conserver un bon état vigile (TARRIERE 1964).

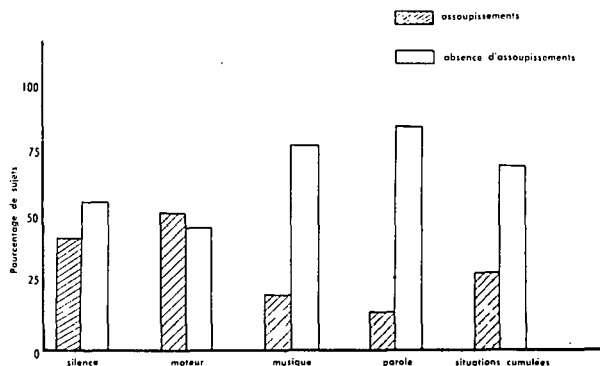


fig. 8

FIG. 8. — Prise de conscience d'assoupissements dans différentes ambiances sonores.

Ces premiers résultats suggéraient des modalités complémentaires d'étude de l'évolution de la vigilance et conduisaient à rechercher des critères plus satisfaisants pour suivre en continu les fluctuations de l'état vigile.

Une tâche secondaire constituée par un guidage continu et facile fut associée à une tâche principale de détection de signaux visuels périphériques (TARRIERE 1965). Des paramètres physiologiques furent également enregistrés en continu : fréquence cardiaque, activité oculaire et électro encéphalogramme.

Les premiers électro encéphalogrammes devaient mettre en évidence l'abondance des fluctuations de l'état vigile au cours d'une épreuve de vigilance : alternance de rythmes rapides (supérieurs à 13 c/s) et de rythmes plus lents (8 à 12 c/s); TARRIERE et REBIFFE 1964).

## II. - RAPPEL DE L'EXPÉRIENCE

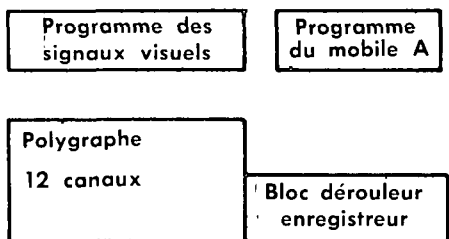
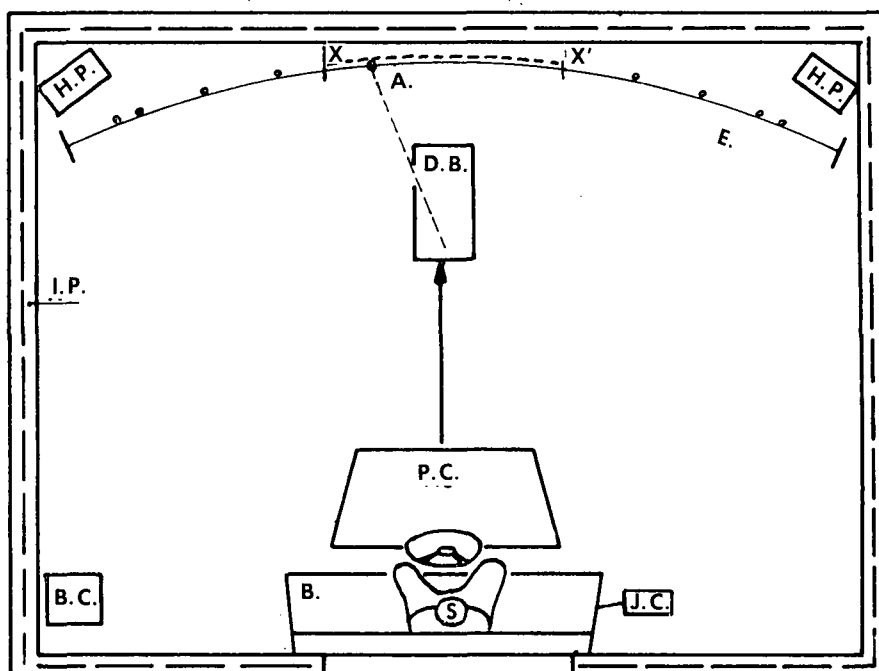
### 1. - CONDITIONS GÉNÉRALES.

Le sujet isolé dans une salle insonorisée est assis à un poste de conduite d'automobile, face à un écran concave sur lequel est projeté un film représentant une route de forêt. La situation ainsi réalisée est monotone : la route est droite et dépourvue de tout trafic (fig. 9).

Le film, réalisé en cinémascope, est projeté sur un écran panoramique de telle sorte que la quasi totalité du champ visuel du sujet est occupée par l'image.

Le poste de conduite est constitué d'une maquette empruntant de nombreux organes d'une voiture de série.

- A. - Mobile lumineux
- E. - Ecran
- H.P. - Haut-parleur
- D.B. - Dispositif de balayage
- P.C. - Poste de conduite
- B. - Banquette
- J.C. - Jauges de contraintes
- M. - Magnétophone
- I.P. - Isolation phonique
- Signaux visuels
- X.X' - Zone de balayage
- E.P. - Ensemble de projection
- B.C. - Boîte de connections



DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

FIG. 9. — Dispositif expérimental.

## 2. - TACHE DE POURSUITE

Elle met en œuvre une cible fixe et un mobile animé d'un mouvement propre qui peut être contrôlé à tout moment par le sujet à l'aide du volant du poste de conduite.

La cible est représentée par deux fentes lumineuses verticales discrètes, situées à mi-hauteur de l'écran. Chaque fente étroite, haute de 10 cm environ, se confond avec le bord de la route. Elles sont distantes l'une de l'autre de 70 cm. Le mobile est représenté par une tache lumineuse de 3 cm<sup>2</sup> balayant lentement l'écran à la vitesse de 1 mètre en 15 secondes environ. Ce balayage se fait tantôt vers la gauche, tantôt vers la droite selon un programme d'inversions aléatoires préétabli.

La course du mobile peut être corrigée à tout moment par le sujet. Il lui est possible de limiter cette course à l'espace compris entre les fentes lumineuses. Quand le mobile sort de la zone permise, il s'immobilise. Il ne reprend son mouvement que par l'intervention du sujet.

Les fentes lumineuses sont matérialisées sur l'enregistrement par deux tracés parallèles. Le mouvement du mobile est enregistré en continu. Les défaillances dans le guidage, c'est-à-dire les sorties du mobile hors de la zone normale de balayage, sont donc aisément contrôlables en fréquence et en durée.

## 3. - TACHE DE SURVEILLANCE

Elle consiste à détecter l'apparition de signaux lumineux de faible intensité et de durée brève (4/10<sup>e</sup> de seconde) qui se détachent en surimpression d'un côté ou de l'autre de la route. Ils sont rares (8 par demi-heure) et programmés en séquence aléatoire qui se reproduit toutes les 30 minutes pendant les 150 minutes de la tâche.

## 4. - ENREGISTREMENTS

On enregistre en continu, en plus des variables des deux tâches (réponses du sujet, émission des signaux, parcours du mobile entre les repères), l'électro-encéphalogramme, la fréquence cardiaque et les mouvements du sujet sur le siège du poste de conduite.

## 5. - OBJET DE L'EXPÉRIENCE

On étudie les effets de la fumée de tabac sur une tâche proche de la conduite automobile monotone.

## 6. - PLAN D'EXPÉRIENCE

24 fumeurs sont répartis en deux sous-groupes de 12.

Les 12 sujets du sous-groupe I subissent une première passation avec tabac, c'est-à-dire qu'ils fument depuis le début de la journée et également au cours de l'expé-

rience. Ils passent une deuxième fois — quinze jours plus tard, en moyenne — en étant à jeun de tabac toute la journée depuis la veille au soir, ce qui représente 16 heures d'abstention de cigarettes quand commence l'expérience.

Les 12 sujets du sous-groupe II passent l'épreuve dans l'ordre inverse : une première fois sans fumer; une deuxième fois en fumant.

Le groupe contrôle de sujets qui ne fument habituellement pas est composé de 51 personnes.

Tous les sujets sont du sexe masculin.

## III. - RÉSULTATS

### 1. - OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES TRACÉS OBTENUS EN SITUATION DE CONDUITE MONOTONE

#### Description générale du tracé.

Les six dérivations EEG. sont enregistrées sur les voies 1, 2, 3, 4, 6 et 7 (Pl. I). Elles correspondent respectivement aux montages suivants :

- occipito-occipitale,
- fronto-occipitale (2 dérivations longitudinales, 2 obliques)
- fronto-frontale.

La fréquence cardiaque et l'actographe sont recueillis sur les voies 5 et 6; une déflexion sur la voie 9 représente une réponse du sujet à l'apparition d'un signal dont l'émission est enregistrée en voie 10. Les voies 10 et 12 matérialisent les deux repères fixes entre lesquels le sujet doit maintenir le mobile dont les évolutions sont suivies sur la voie 11.

Cette présentation groupée des informations physiologiques et opératoires permet de les rapprocher à tout moment : c'est à de tels rapprochements que l'on procèdera ici, afin de montrer sur quels aspects et dans quelles limites la vigilance exprimée en termes de performance à la tâche de surveillance est liée à la vigilance physiologique ou neuro-physiologique.

#### Classification EEG.

On a distingué quatre catégories de rythmes, correspondant à quatre niveaux de vigilance assez bien différenciés :

- les rythmes de sommeil, dits rythmes delta, de 1 à 3 c/s;
- les rythmes de somnolence (thêta), de 4 à 7 c/s;
- les rythmes de vigilance « faible » (alpha), de 8 à 13 c/s;

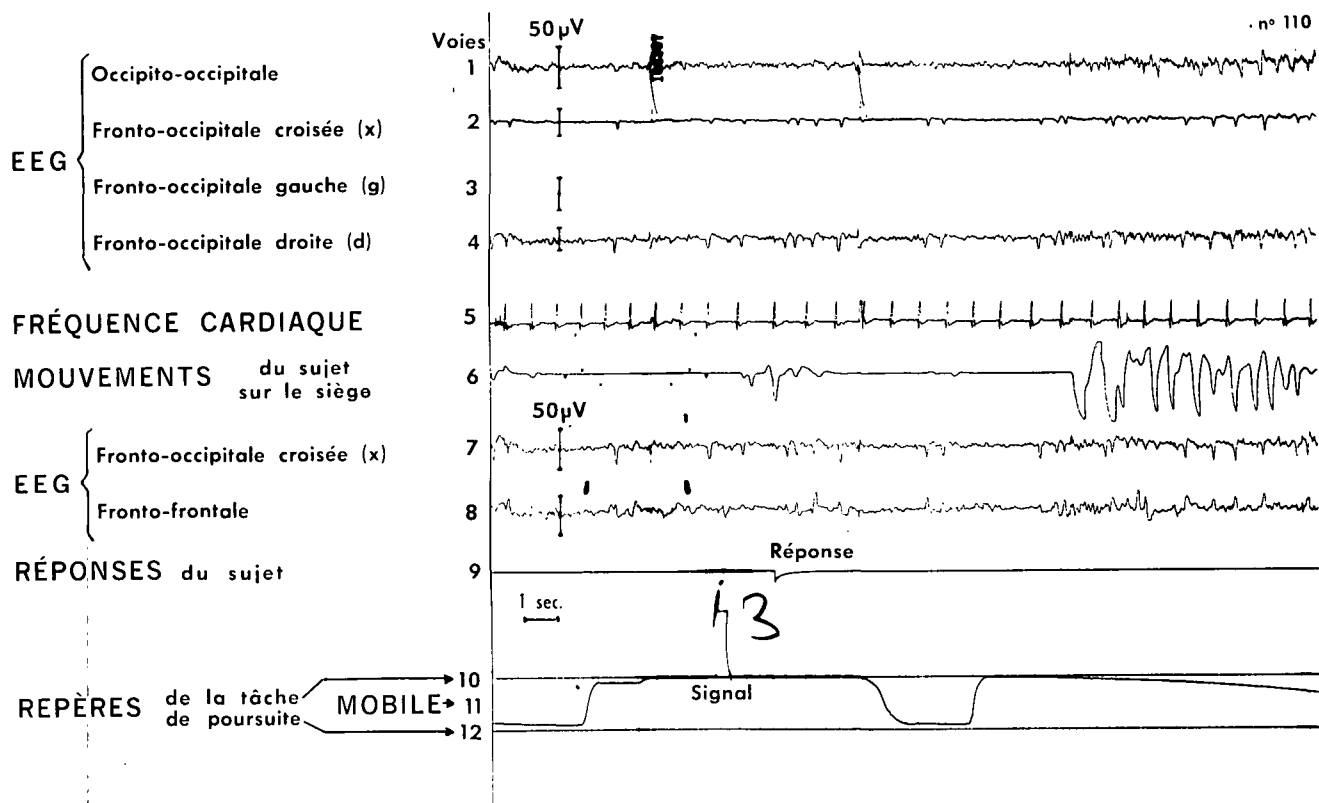


Planche I : Enregistrement type effectué au cours de la tâche de simulation de conduite monotone.

— les rythmes de vigilance normale (bêta), au dessus de 13 c/s.

Les rythmes de sommeil sont très rarement apparus au cours des expériences effectuées : parmi les 126 sujets dont l'E.E.G. a été dépouillé<sup>1</sup> et les 134 autres sujets qui ont également passé l'épreuve de conduite simulée, on ne relève que deux cas d'endormissement.

La présence de rythmes thêta est également assez rare; on observe de tels rythmes chez 10 sujets seulement. En général peu abondants, ils alternent avec des rythmes alpha dont l'apparition est beaucoup plus fréquente : on en rencontre en effet chez plus de la moitié des sujets.

Les rythmes d'éveil (bêta) caractérisent évidemment la totalité des tracés.

Compte tenu de cette répartition des rythmes observés, il s'imposait de faire porter l'analyse sur ceux qui étaient partagés par la majorité des sujets, c'est-à-dire sur l'alpha et le bêta. En l'absence de filtres décomposant ce dernier dans ses diverses fréquences en c/s, on n'a pas utilisé les informations qu'il pou-

(1) Cet effectif représente le nombre d'enregistrements dépouillés. Il arrivera toutefois qu'il varie de quelques unités selon les critères utilisés dans l'exploitation des tracés.

vait fournir : leur exploitation eût été difficile et peu sûre; on a donc choisi l'alpha comme seul critère E.E.G.

#### Remarques sur les rythmes alpha observés.

Comme on peut le voir (fig. 10), la quasi totalité des sujets présentent de l'alpha lorsqu'il leur est demandé, avant le début de la tâche, de tenir les yeux fermés. Au cours de la tâche, on voit apparaître ces mêmes rythmes dans plus de la moitié des tracés.

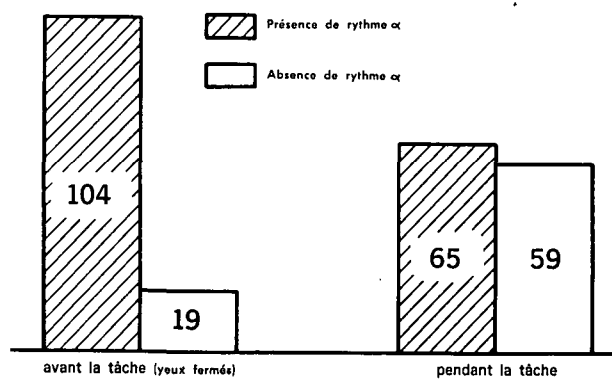


FIG. 10. — Nombre de sujets présentant, ou non, des rythmes alpha avant et pendant la tâche de surveillance.

Si on examine la correspondance des ondes alpha avant et pendant la tâche, on remarque (fig. 11) que les sujets qui présentent de l'alpha pendant l'épreuve, en présentent également avant (à 3 exceptions près), mais qu'à l'inverse, le fait d'en présenter dans cette dernière situation n'implique nullement qu'il en apparaisse ensuite, au cours de l'expérience (43 sujets). Enfin, 16 sujets n'ont jamais d'alpha, ni avant, ni pendant la tâche.

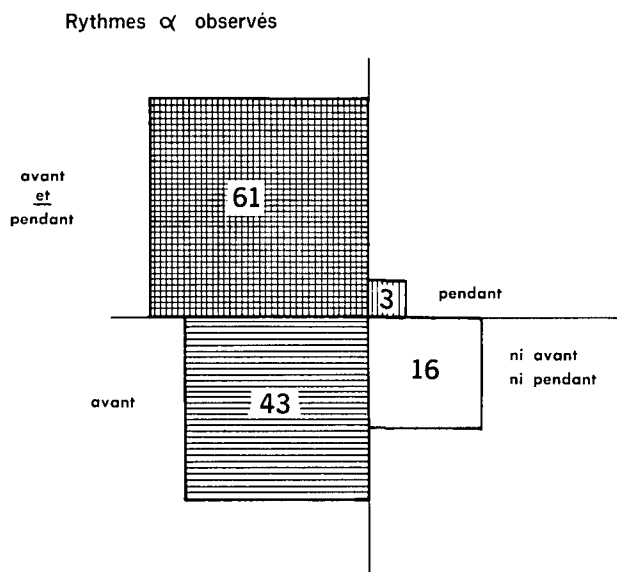


FIG. 11. — Répartition des sujets selon qu'ils présentent, ou non, des rythmes alpha avant et pendant la tâche.

En ce qui concerne la fréquence, on constate (fig. 12) que l'alpha enregistré avant la tâche est plus rapide qu'ensuite, pendant l'exécution de celle-ci ( $t$  de Student significatif à .02). Ce phénomène pourrait traduire un niveau de tension des sujets plus élevé avant le début de l'épreuve, comme MICHAUT (1964) l'a noté chez ses conducteurs avant de commencer leur ronde sur circuit de vitesse, aussi bien qu'un niveau d'alerte entretenu à un niveau élevé par la situation particulière qui exige des sujets qu'ils ferment et ouvrent les yeux à la demande de l'expérimentateur.

#### Rapidité des fluctuations de la vigilance.

Il est frappant d'observer, chez un grand nombre de sujets, des fluctuations continues du niveau de vigilance, tel que l'E.E.G. en rend compte. Un exemple en est donné ci-dessous (planche II). Les alternances rapides de périodes de vigilance normale

et de périodes de vigilance faible ont pour effet de restreindre, avec le même rythme, le champ de surveillance des sujets. Lorsque la vigilance est élevée, les deux tâches de surveillance et de guidage sont correctement effectuées, mais, dès que la vigilance s'abaisse au seuil d'apparition des rythmes alpha, les sujets ne semblent plus capables de surveiller à la fois les signaux lumineux et le mobile. L'aspect le plus important de cette observation n'est pas que

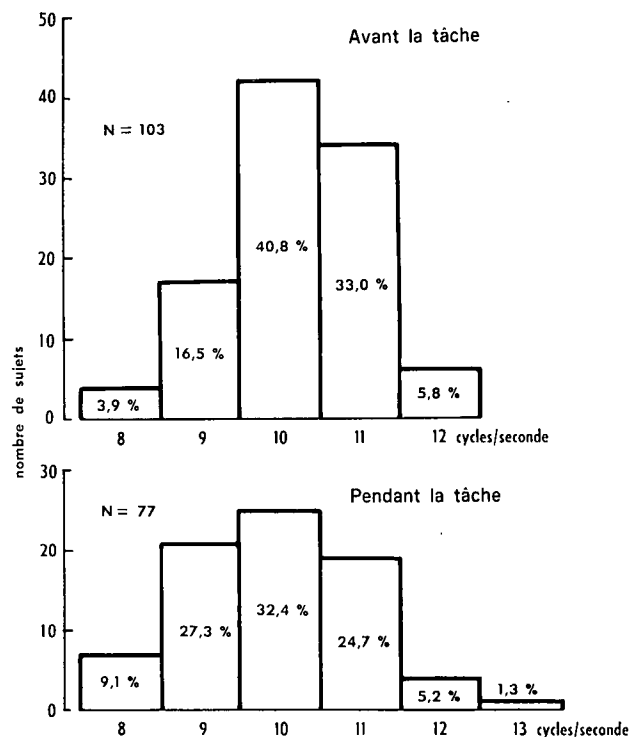
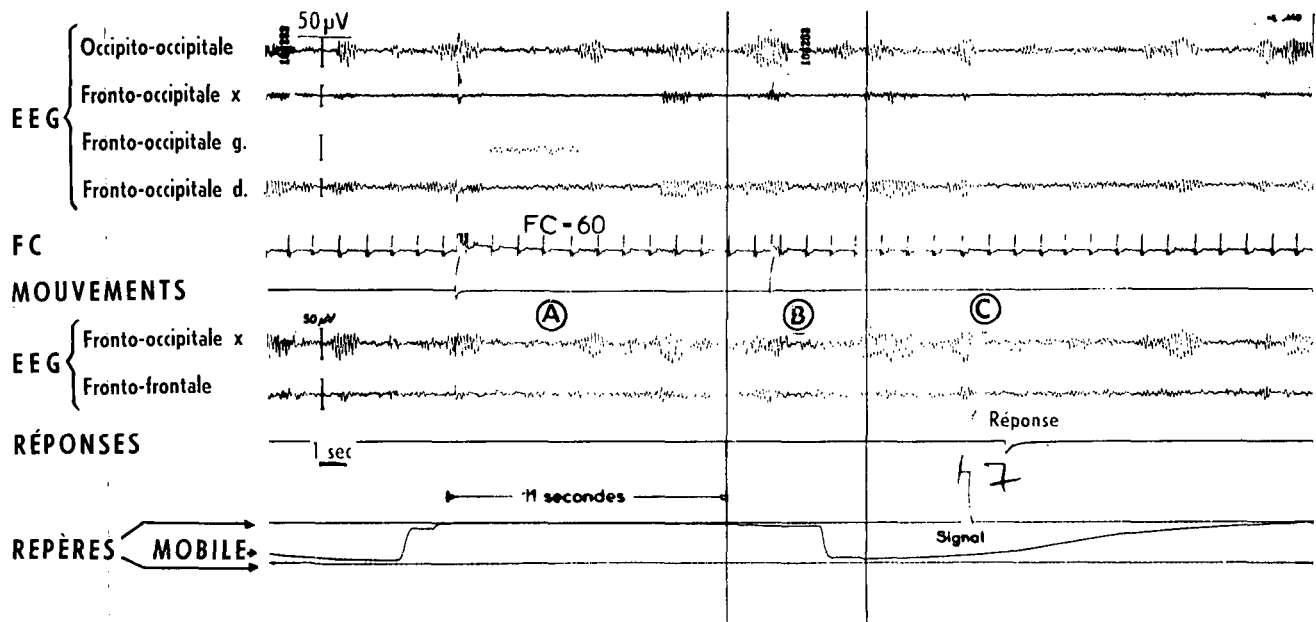


FIG. 12. — Distribution de la fréquence du rythme alpha avant et pendant la tâche.

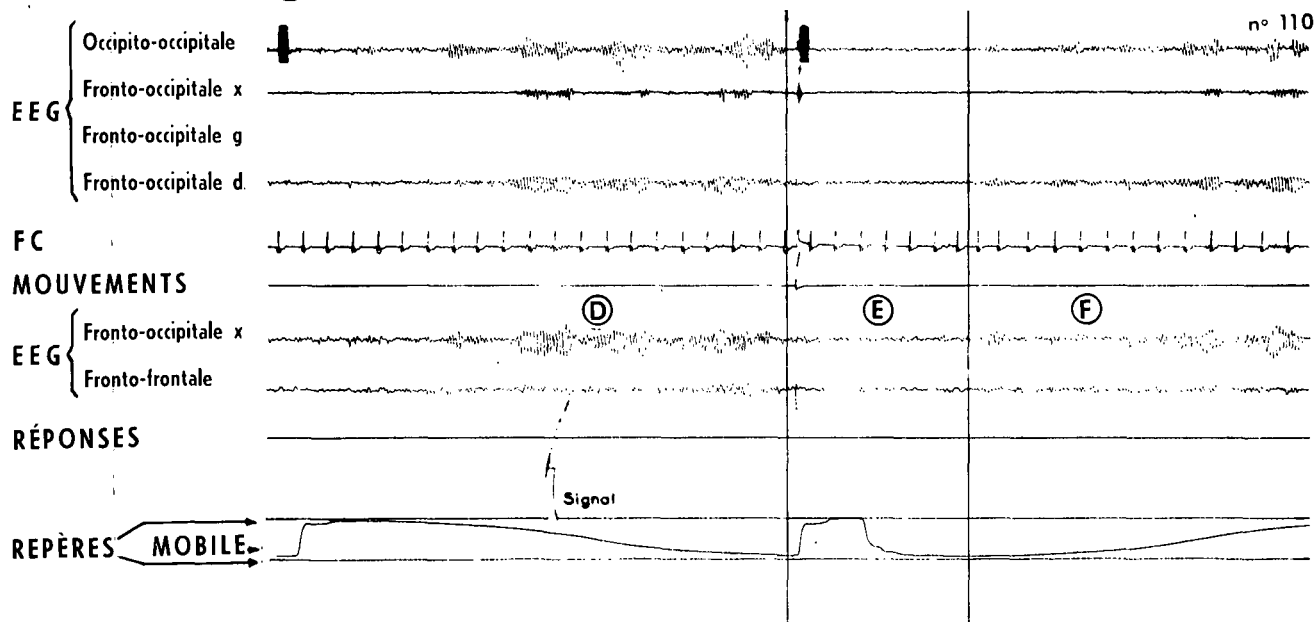
la vigilance présente des « hauts et des bas », mais que ses défaillances soient parfois très brèves et très inattendues comme en témoignent certaines bouffées d'alpha survenant dans un contexte de bêta. Les sujets n'ont pas conscience, autant qu'on puisse le savoir par les interviews ménagés avec eux après l'expérience, de ces baisses d'attention très fugaces alors qu'ils ont bien enregistré les périodes prolongées pendant lesquelles ils ont lutté contre l'assoupissement qu'on identifie aisément au vu des tracés envahis par les rythmes alpha.





Tracé ralenti et ample. Abondance de rythmes  $\alpha$

- (A) Pendant 11 secondes, le sujet reste sans réaction à la sortie du mobile.
- (B) La tâche de poursuite est à nouveau contrôlée.
- (C) Détection du signal.



- (D) Réaction d'arrêt et correction de la trajectoire du mobile. Puis l' $\alpha$  envahit à nouveau le tracé. Le signal n'est pas détecté.
- (E) Accélération et aplatissement du tracé à l'arrivée du mobile en fin de course. Sa trajectoire est modifiée par le sujet.
- (F) et aussitôt l' $\alpha$ , à nouveau, se généralise.

Planche II : Exemple de fluctuations de l'attention au cours d'une tâche de surveillance et de poursuite.

## 2. - VALEUR DE L'E. E. G. COMME CRITÈRE D'EFFICIENCE DU CONDUCTEUR

### Formulation du problème.

Le tracé électroencéphalographique constitue une masse d'informations qui peuvent donc être, comme on vient de le voir, condensées et classées de manière assez économique. Leur exploitation statistique est relativement aisée, mais quelle peut en être la portée? En d'autres termes, les données E.E.G. ont-elles valeur de critère exprimant synthétiquement, dans le cas présent, le niveau global et les fluctuations de l'attention au cours de la conduite monotone? L'exploitation des données a été faite pour répondre à cette question.

La démarche que nous suivrons pour ce faire comportera deux étapes. En premier lieu, nous vérifierons que l'E.E.G. est sensible aux effets d'un facteur tel que le tabac dont on a pu constater antérieurement qu'il élevait le niveau d'activation des sujets<sup>1</sup>. Cette sensibilité devra se traduire par le fait que certaines variables caractérisant les données électroencéphalographiques présenteront des valeurs différentes selon que les sujets auront été soumis ou non à l'influence du tabac, et ce, quelle que fût leur performance à la tâche de surveillance.

On cherchera, dans un deuxième temps, à identifier les variables électroencéphalographiques sensibles aux différences d'efficacité des individus à cette tâche. Cette étape peut être considérée comme cruciale : elle doit en effet évaluer la force de la liaison qui unit le niveau d'activation ou d'éveil, que l'E.E.G. doit permettre d'apprécier, et le niveau de réussite à une tâche de vigilance.

Au cas où les données E.E.G. s'avèreraient indépendantes des divers degrés de performance à ce travail de surveillance, on devrait abandonner l'hypothèse d'une relation entre vigilance physiologique ou neurophysiologique et vigilance opératoire.

Par contre, si l'on met en évidence que certaines variables qui définissent l'E.E.G. et celles qui caractérisent la performance ne sont pas indépendantes, on pourra chercher à préciser l'importance exacte des liaisons découvertes, les possibilités de leur généralisation et l'orientation à donner à des recherches ultérieures. On aura surtout progressé dans la voie empruntée depuis plusieurs années pour découvrir les relations entre processus psychologiques et processus physiologiques impliqués dans l'exécution d'une tâche monotone de conduite.

(1) F. HARTEMANN et C. TARRIERE : « Effets de l'oxyde de carbone et de la nicotine en conduite automobile » - Cahiers de l'O.N.S.E.R. n° 14 août 1965.

## Validation de l'E.E.G. par contrôle de sa sensibilité à un facteur connu de stimulation.

Les 126 sujets dont les tracés électroencéphalographiques ont été analysés, constituent trois groupes : un groupe de non-fumeurs (68 sujets), un groupe de fumeurs ayant passé l'expérience en fumant (28) et un groupe de 30 fumeurs qui ont été privés de tabac au cours de l'épreuve et pendant les 20 heures qui l'ont précédée.

On a remarqué antérieurement, en s'appuyant sur les indications fournies par la fréquence cardiaque des sujets, que les trois groupes présentaient des niveaux différents d'activation : les fumeurs « avec tabac » étaient plus « activés » que les fumeurs privés de tabac, cependant que les non-fumeurs se situaient, à ce point de vue, à un niveau intermédiaire. Ces observations étaient parfaitement en accord avec les connaissances acquises au sujet des effets de la fumée de tabac sur le système nerveux central.

Une analyse de l'ensemble des tracés E.E.G. devrait donc nous indiquer si ceux-ci mettent bien en évidence des différences de niveau d'activation entre les trois groupes. On fait à ce sujet l'hypothèse que les fumeurs avec tabac présenteront des rythmes plus rapides que les non-fumeurs et que les fumeurs sans tabac.

### 1. - Différenciation des groupes par la densité des tracés en rythmes alpha.

Chaque tracé a été affecté à l'une des trois catégories suivantes :

- abondance de rythmes, alpha soit de 15 à 30 % du tracé (signe +);
- absence de rythme alpha, (signe 0);
- densité faible en moyenne, soit de 1 à 15 % du tracé (signe ±).

On a ainsi obtenu le tableau de répartition suivant, selon les groupes (Tabl. I).

TABLEAU I  
Répartition des sujets, dans chaque groupe, selon la densité de leur tracé en rythme alpha.

|                      | Densité du rythme alpha |               |               | TOTAL          |
|----------------------|-------------------------|---------------|---------------|----------------|
|                      | $\alpha +$              | $\alpha \pm$  | $\alpha 0$    |                |
| Non fumeurs.....     | 12 ou<br>18 %           | 34 ou<br>50 % | 22 ou<br>32 % | 68 ou<br>100 % |
| Fumeurs avec tabac.. | 1 ou<br>3 %             | 5 ou<br>17 %  | 22 ou<br>80 % | 28 ou<br>100 % |
| Fumeurs sans tabac.. | 5 ou<br>17 %            | 10 ou<br>33 % | 15 ou<br>50 % | 30 ou<br>100 % |

On note que les fumeurs « avec tabac » ont une densité de rythmes alpha plus faible que les fumeurs « sans tabac ». Ceci apparaît dans le tableau I où l'on peut voir que 80 % des fumeurs avec tabac

ne présentent pas d'alpha alors que l'absence de ce rythme n'est observée que chez 50 % des fumeurs sans tabac. Cette remarque gagne beaucoup en signification si l'on rappelle que ce sont les mêmes sujets qui ont passé l'épreuve une fois en fumant, une autre fois sans fumer et qu'on a neutralisé un éventuel effet d'ordre de passation par un plan expérimental approprié. Soulignons également que l'observation faite ici concorde avec celle de certains auteurs qui ont remarqué que, sous l'effet de la fumée de cigarette, les fumeurs présentent une accélération du tracé E.E.G. et une baisse de voltage (LAMBIASE et SERRA, 1957; WECHSLER, 1958; HAUSER et Coll. 1958).

En ce qui concerne les non-fumeurs, ils présentent une densité d'alpha sensiblement égale aux fumeurs privés de tabac et supérieure, comme eux, aux fumeurs avec tabac ( $\chi^2$  significatif au seuil de .01). On ne retrouve donc plus les non-fumeurs au niveau intermédiaire qu'ils occupaient, au point de vue fréquence cardiaque, entre fumeurs avec et fumeurs sans tabac.

## 2. - Différenciation des groupes par la fréquence du rythme alpha (en cycles/seconde).

L'analyse des tracés en fréquence a été effectuée

sous un double aspect. On a, d'une part, calculé pour chaque sujet la fréquence moyenne en cycles par seconde du rythme alpha enregistré au cours des minutes précédant le début de la tâche; on a, d'autre part, établi la fréquence moyenne de l'alpha enregistré pendant l'exécution de cette tâche.

On remarque, en procédant à une comparaison entre les groupes, qu'avant la tâche les rythmes alpha sont plus rapides chez les fumeurs « avec tabac » que chez les fumeurs « privés de tabac » (t significatif à .05). Cette différence de fréquence avant la tâche ne distingue pas les fumeurs avec tabac des non-fumeurs (fig. 13). On peut sans réserve imputer à la fumée de tabac — ou à sa privation — cette modification de l'alpha en fréquence, puisque présence ou absence de cigarette constituaient les seules modifications de la situation expérimentale.

Au cours de l'exécution de la tâche, la privation de tabac provoque un ralentissement des rythmes alpha (fréquence moyenne : 9,07 c/s). Cette fréquence est plus élevée chez les fumeurs avec tabac (9,77 c/s) et chez les non-fumeurs (10,08 c/s) : t significatif à .05 entre fumeurs sans tabac et chacun des deux autres groupes.

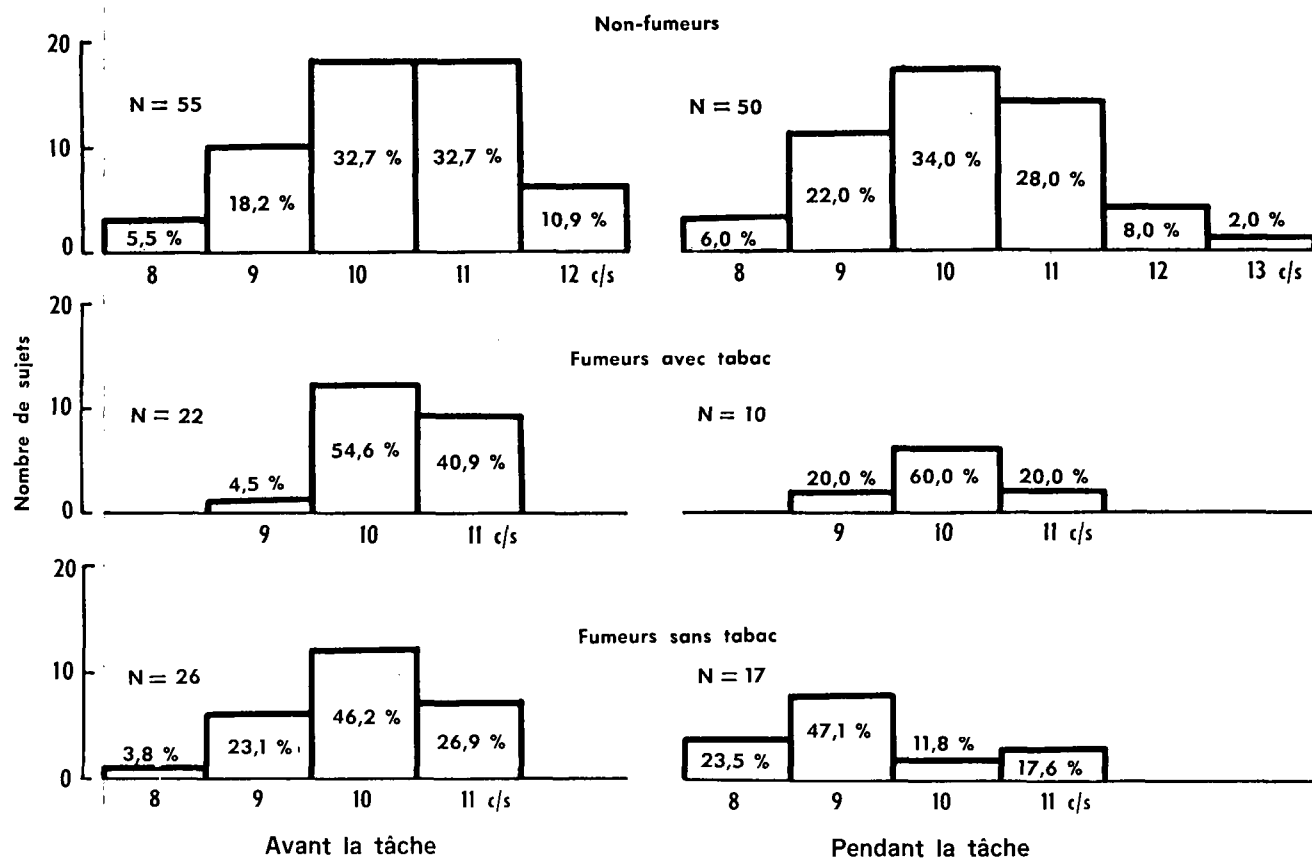


FIG. 13. — Distribution de la fréquence du rythme alpha selon les groupes avant et pendant la tâche.

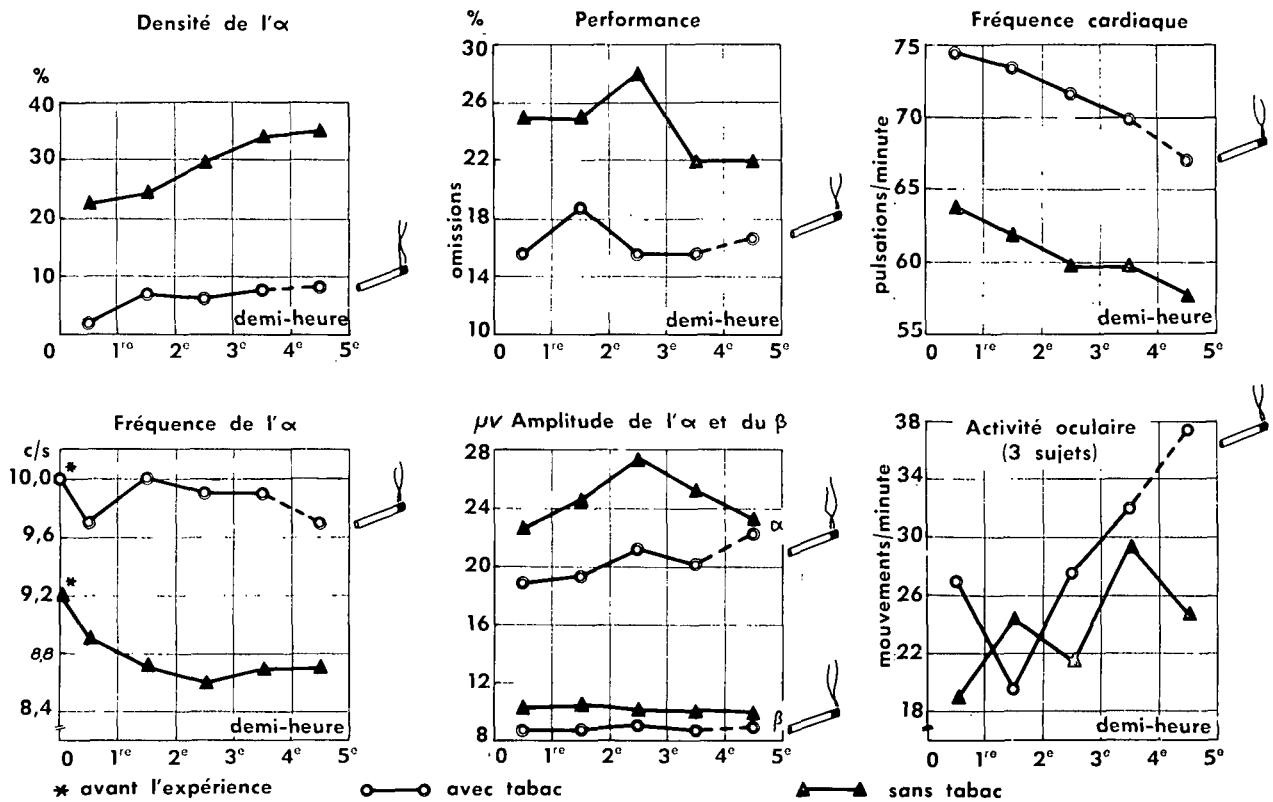


FIG. 14. — Variations concomitantes de la performance et de certains critères physiologiques au cours d'une tâche de surveillance

### 3. - Différenciation des groupes par l'amplitude du rythme alpha.

L'amplitude moyenne des bouffées d'alpha les plus amples a été mesurée chez 24 fumeurs avec et sans tabac. Les données, exprimées en microvolts, sont différentes d'une condition à l'autre : le voltage est plus bas lorsque les sujets fument que lorsqu'ils sont privés de tabac (t significatif à .01). Cette remarque rejoint l'observation de LAMBIASE et SERRA (1957) qui constataient que la fumée de tabac abaissait le voltage des tracés E.E.G.

### 4. - Sensibilité de l'E.E.G. à la présence du tabac au cours des demi-heures successives de la tâche.

Une synthèse, portant sur un échantillon limité de quatre sujets, met en évidence la sensibilité de l'E.E.G. à la présence du tabac au cours des demi-heures successives de la tâche de vigilance (fig. 14). La différence d'amplitude du bêta semble faible mais, si on la mesure en pourcentage, on peut voir qu'elle est peu différente, proportionnellement, de celle de l'alpha : la privation de tabac élève de 15 % le voltage du bêta

et de 21 % celui de l'alpha. Pourquoi cette petite différence entre élévation de l'un et élévation de l'autre voltage? Cela tient sans doute à l'approximation du dépouillement visuel et il y a tout lieu de penser qu'un enregistrement sélectif des rythmes rapides aurait permis plus de précision.

On peut remarquer, à propos des diverses variables physiologiques considérées chez ces quatre sujets, que l'effet du tabac sur l'élévation de la fréquence cardiaque est associé à une densité faible (moins de 10 % du tracé) et à une fréquence plus élevée du rythme alpha; alors que la privation de tabac entraîne un ralentissement important du pouls (12 pulsations/minute de moins qu'avec tabac) et, conjointement, une forte densité d'alpha dont la fréquence est abaissée de 1,2 cycle/seconde en moyenne pendant les 5 demi-heures de la tâche. L'amplitude de l'alpha est également sensible à la présence de la fumée de tabac qui diminue légèrement le voltage de ce rythme.

L'activité oculaire, exprimée en nombre de mouvements des yeux par minute, diffère aussi selon que les sujets fument ou non. L'interprétation de ce phé-

nomène est difficile : chez certains sujets, l'activité oculaire décroît lorsque l'alpha devient plus abondant ce qui paraît logique, mais chez d'autres, cette liaison est beaucoup moins nette, et parfois, comme c'est le cas pour deux sujets, les mouvements des yeux sont d'autant plus nombreux que l'alpha est plus abondant dans leur tracé. On comprendrait mieux ces phénomènes apparemment contradictoires, si l'on avait pu distinguer fermetures des paupières et mouvements du globe oculaire. Les enregistrements n'ont pas ménagé cette possibilité. Un exemple des liaisons les plus vraisemblables entre activité oculaire et E.E.G. est donné ci-dessous (fig. 15). On remarque que ces deux variables évoluent presque « en miroir ». Cette relation apparaît encore lorsqu'on adopte un échantillonnage plus fin (fig. 16 : valeurs comptées sur une minute toutes les trois minutes). Le pouls ralentit et se régularise entre la 70<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> minute, durée pendant laquelle les bouffées d'alpha sont les plus nombreuses.

Cette illustration des fluctuations concomitantes des activités corticale, cardiaque et oculaire souligne d'une manière idéale une cohérence des critères physiologiques observée sur un cas privilégié. Mais cette cohérence globale de leur variation, qui n'est pas toujours aussi parfaite, ne signifie pas qu'ils soient en accord avec l'efficiency dont les sujets font preuve à la tâche qui leur est assignée. C'est ce point que nous examinerons maintenant.

##### 5. - Conclusions partielles.

L'E.E.G. permet de distinguer, chez un grand nombre de sujets, des périodes de vigilance normale qui alternent avec des périodes de vigilance faible pendant lesquelles on note une restriction du champ de surveillance et, ce, pendant toute la durée de la tâche.

On vérifie également, par analyse des tracés, que l'effet facilitateur qu'exerce la fumée de tabac sur la surveillance est imputable à une élévation du niveau d'activation des fumeurs, comme cela était apparu par interprétation de la fréquence cardiaque lors d'une précédente recherche. Cette vérification permet, de plus, de dégager les critères E.E.G. les plus sensibles aux variations du niveau d'activation de nos sujets, qui ne présentent en général que des rythmes alpha ou bêta. C'est ainsi qu'on remarque qu'en privation de tabac, les tracés des fumeurs présentent une plus forte densité d'alpha que lorsqu'ils fument; l'amplitude de l'alpha est également plus grande, sa fréquence (en cycles par seconde) est moins élevée.

##### Validité de l'E.E.G. comme critère d'efficiency à la tâche de vigilance.

L'hypothèse à vérifier dans ce chapitre est que les modifications de l'E.E.G. pour certaines de ses varia-

bles, sont en rapport avec les fluctuations d'efficiency des sujets à la tâche de surveillance.

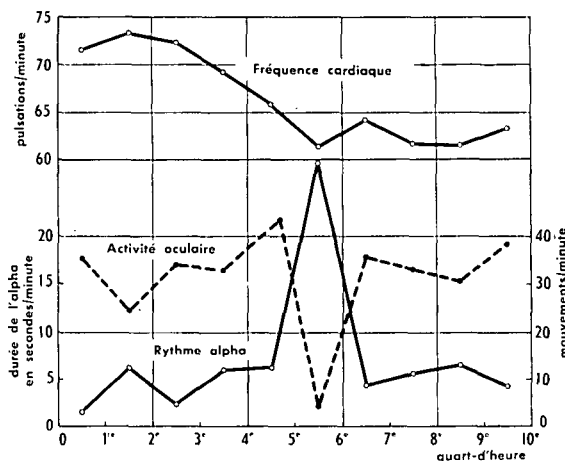


FIG. 15. — Exemple de fluctuations concomitantes des activités corticale, cardiaque et oculaire présentées par un sujet au cours d'une tâche de surveillance.

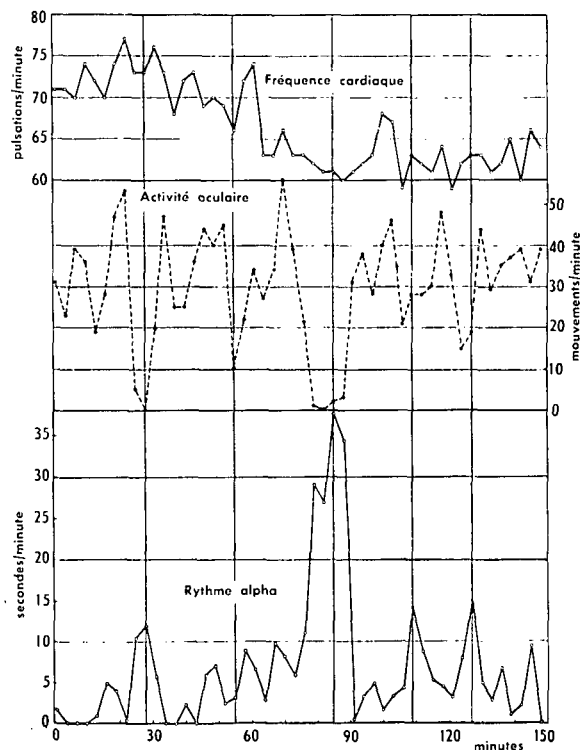


FIG. 16. — Exemple de fluctuations concomitantes des activités corticale, cardiaque et oculaire présentées par un sujet au cours d'une tâche de surveillance.

On a vu que le rythme alpha différenciait assez bien les sujets selon qu'ils fumaient ou non; on sait par ailleurs que la fumée de tabac facilite l'exécution d'une tâche de surveillance; on devrait donc trouver une relation entre le taux de détections des signaux et la nature des rythmes électroencéphalographiques présentés par les sujets.

Cette hypothèse a été testée à trois niveaux : l'un où nous avons recherché l'importance de la corrélation entre le score total de détections par sujet et certains paramètres caractérisant les tracés E.E.G.; l'autre niveau d'analyse est plus fin : il met en parallèle l'évolution de la performance et l'évolution du tracé au cours de cent-cinquante minutes d'exécution de la tâche de vigilance. On a enfin recherché dans quelle mesure un sujet est capable, aux moments où il présente des rythmes alpha, de détecter les signaux de la tâche.

Ces trois types d'analyse constituent des voies d'approche complémentaires visant toutes à connaître la valeur des informations fournies par l'E.E.G. sur l'efficacité des individus exécutant une activité monotone.

### 1. - Corrélation entre E.E.G. et score total de détection.

Parmi les diverses variables définissant l'E.E.G., seule l'amplitude moyenne de l'alpha est liée à la performance — une corrélation de .37 ( $\rho$  de Spearman) unit le pourcentage de signaux vus et l'amplitude moyenne des rythmes alpha. Corrélation faible mais significative établie sur vingt-deux sujets fumeurs lors de leur passation avec tabac. Plus le tracé est ample, plus est faible le taux de détection; telle est la tendance indiquée par cette corrélation.

La liaison n'est pas très étroite, ce qui signifie que les sujets présentant des amplitudes égales d'alpha peuvent présenter des performances assez différentes à la tâche de vigilance.

### 2. - Évolution de la performance et manifestations E.E.G. concomitantes.

Si on ne considère plus les différences interindividuelles dont la corrélation tient compte, mais les différences intra-individuelles de performance au cours des demi-heures successives de la tâche de vigilance, on voit que certaines variables E.E.G. ont une bonne sensibilité aux fluctuations de l'attention que cette tâche nécessite (fig. 17). Douze sujets ont été pris au hasard parmi les

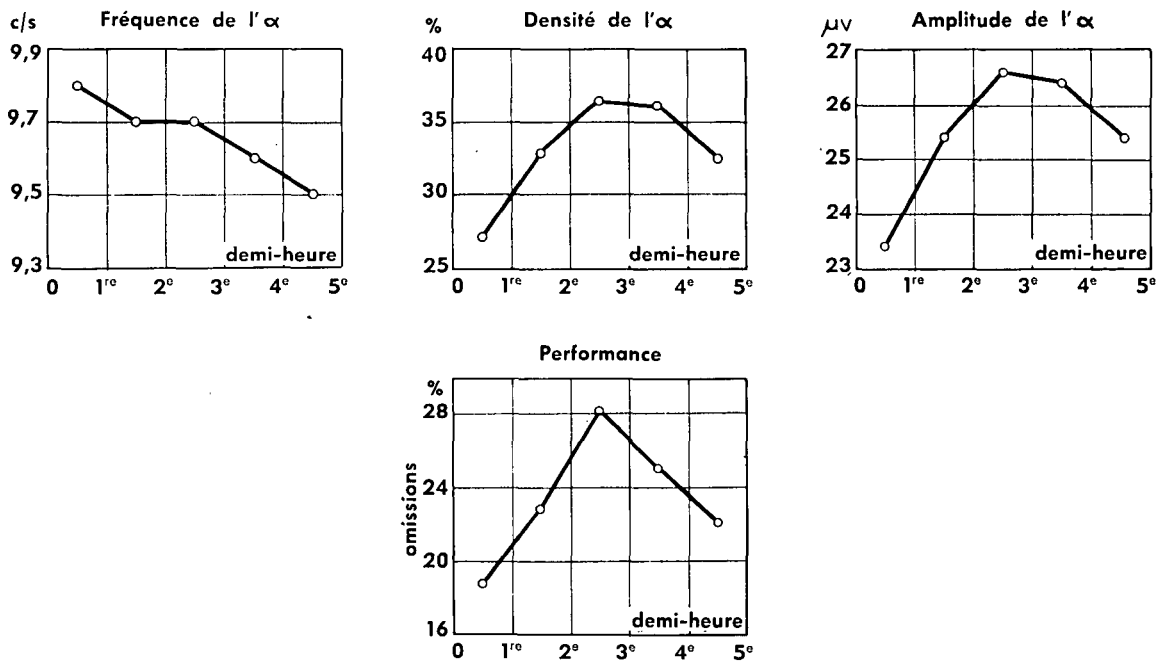


FIG. 17. — Évolutions comparées de la performance des caractéristiques du rythme alpha au cours d'une tâche de surveillance (12 sujets).

soixante-sept présentant des rythmes alpha pendant l'épreuve. On a compté, pour chacune des cinq demi-heures, la densité des tracés en rythmes alpha (exprimée en rapport procentuel du nombre de millimètres d'alpha sur le nombre de millimètres d'une page d'enregistrement), la fréquence de l'alpha (en cycles par seconde) et son amplitude moyenne (en microvolts). Il ressort de cette analyse une correspondance étroite entre l'évolution de l'efficiencé des sujets, telle qu'elle est saisie par le pourcentage d'omissions des signaux présentés et l'évolution de la densité et de l'amplitude des ondes alpha. La fréquence de l'alpha baisse légèrement du début à la fin, sans lien avec les autres variables.

On a indiqué, ci-dessus, que parmi les variables définissant l'alpha, seule l'amplitude était en corrélation avec la performance, corrélation faible, d'ailleurs. Comment concilier ce fait avec l'existence d'une liaison assez forte de la performance avec l'amplitude et la densité de l'alpha au point de vue de leurs fluctuations pendant les 2 heures 30 de l'activité de surveillance? A l'origine de cette discordance on retrouve un phénomène souvent constaté : à état d'activation égal, les individus présentent des signes physiologiques différents (fréquence de l'alpha différente, fréquence cardiaque différente, etc...). De là vient que les deux variables alpha et performance peuvent constituer l'une et l'autre des critères très valides du niveau d'activation sans être pour autant fortement corrélées. De là vient en outre que les effets d'un quelconque facteur sont beaucoup plus faciles à mettre en évidence sur le plan physiologique lorsque de mêmes sujets se trouvent à leur propre contrôle. C'est ce procédé qu'on utilise ici, pour suivre les variations concomitantes de l'alpha et de la performance. La similitude de leurs variations ne doit toutefois pas laisser penser que la présence d'ondes alpha entraîne nécessairement une incapacité, pour les sujets, de détecter les signaux de la tâche. En moyenne, l'alpha est présent, chez ces sujets, pendant 33 % du temps. En dehors de ces périodes de ralentissement du tracé, qui représentent donc un tiers de la durée totale de la situation monotone, il y a deux tiers de temps pendant lesquels les rythmes électriques enregistrés sont rapides, témoignant donc d'un bon niveau d'éveil. Pendant ces périodes, il arrive que des signaux ne sont pas détectés, comme il arrive que certains signaux sont vus alors que les sujets présentent des bouffées d'alpha. Il vient alors une question à ce propos : quelle est, définie par la probabilité de détection des signaux, l'efficiencé d'un sujet pendant l'alpha, comparée à celle qu'il présente lorsque ses rythmes E.E.G. sont plus rapides?

### 3. - Différence d'efficiencé en alpha et en bêta.

Elle peut être estimée de deux manières : d'une part, en comparant les taux de détection des sujets qui n'ont pas présenté d'alpha pendant l'épreuve et des

sujets qui en ont présenté; d'autre part, en comparant, chez les sujets avec l'alpha, leur performance en présence et en absence de ces rythmes.

Pour la première comparaison, on obtient une différence significative ( $\chi^2 = 4,226$ ) entre taux de détection des sujets ayant beaucoup ou peu d'alpha et des sujets sans alpha. Ces derniers ont une meilleure performance que les autres. Ceci chez trente-huit non-fumeurs. Il en va de même chez les fumeurs sans tabac ( $\chi^2 = 26,71$ , significatif à .10), mais non chez les fumeurs avec tabac : chez ces derniers, l'échantillon de ceux qui ont beaucoup ou moyennement d'alpha est très réduit, ce qui peut expliquer l'absence de différence significative.

La supériorité de la performance accomplie par les sujets sans alpha concorde avec les remarques faites jusqu'ici et l'on pourrait s'attendre à retrouver, dans le même sens, une supériorité de performance chez les sujets avec peu d'alpha par rapport à ceux qui en ont beaucoup. Ce n'est pourtant pas le cas, comme on peut le voir ci-dessous (tableau II).

TABLEAU II

Pourcentages de signaux omis par les sujets présentant beaucoup d'alpha ( $\alpha +$ ), peu d'alpha ( $\alpha \pm$ ) ou pas du tout ( $\alpha 0$ ). Dans chaque groupe, les sujets de la catégorie  $\alpha \pm$  ont un pourcentage d'omissions supérieur aux sujets de la catégorie  $\alpha +$ .

|                      | GROUPES                     |              |            |
|----------------------|-----------------------------|--------------|------------|
|                      | $\alpha 0$                  | $\alpha \pm$ | $\alpha +$ |
|                      | Pourcentage de signaux omis |              |            |
| Fumeurs avec tabac.. | 12,5 %                      | 16,6 %       | 12 %       |
| Fumeurs sans tabac.. | 10,7 %                      | 28 %         | 22,5 %     |
| Non fumeurs .....    | 16 %                        | 22,5 %       | 17 %       |

Certes, il convient de faire certaines réserves sur la fidélité du critère selon lequel les catégories ont été établies : entre  $\alpha \pm$  et  $\alpha +$  en particulier, la différence de densité d'alpha est souvent minime et parfois peu sûre; un classement établi sur la base de données qu'une analyse automatique du tracé eût élaborées aurait eu plus de rigueur. Les valeurs indiquées au tableau II représentent donc plutôt un ordre de grandeur. Il reste néanmoins acquis ceci : qu'il n'y a pas de relation linéaire entre performance à la tâche de surveillance et abondance de rythmes alpha dans les tracés E.E.G.

Il est également vrai que l'état de vigilance caractérisé par l'alpha permet de réaliser une performance moins bonne que l'état correspondant aux rythmes bêta. Ceci apparaît au tableau ci-après (III) où on a comparé la probabilité de détection et d'omission d'un signal survenant en alpha à celle d'un signal survenant en bêta.

TABLEAU III

Probabilité de détection d'un signal en fonction du contexte électroencéphalographique (Pourcentages obtenus pour un échantillon de 9 sujets).

|                                                | Pourcentage de signaux |          |
|------------------------------------------------|------------------------|----------|
|                                                | omis                   | détectés |
| Signaux émis en présence de rythmes alpha..... | 38 %                   | 62 %     |
| Signaux émis en présence de rythmes bêta.....  | 22 %                   | 78 %     |

Cette statistique porte sur neuf sujets. Il en a été établi une autre sur un échantillon de trente-six sujets, pour lesquels on a comparé le taux d'omissions de signaux qui ont été envoyés intentionnellement pendant une bouffée d'alpha au taux d'omissions des autres signaux, normalement programmés, dont certains ont évidemment pu arriver simultanément à une bouffée d'alpha. On obtient dans ce cas la statistique suivante :

Sur 189 signaux émis intentionnellement pendant une bouffée d'alpha, 96 sont omis, soit 51 %.

Sur 1 240 signaux émis normalement, sans coïncidence recherchée avec un état de vigilance abaissé, 255 seulement sont omis, soit 20,5 %.

Il ressort bien de ces données que certains contextes électroencéphalographiques sont moins favorables que d'autres à l'exécution de la tâche de surveillance, mais l'on voit bien, aussi, que les conditions dites favorables ne sont pas des conditions sine qua non.

Les sujets, rappelons-le, avaient deux tâches à effectuer : l'une de surveillance, comportant la détection de signaux lumineux périphériques; l'autre de guidage, consistant à maintenir un mobile lumineux, animé d'un mouvement propre, entre deux repères fixes. Cette dernière tâche était très simple et ne nécessitait qu'une attention faible. L'étude des modalités d'exécution de ces deux tâches simultanées au cours de périodes de vigilance abaissée apporte un éclairage utile sur ce problème des différences de détection selon le contexte E.E.G. La pl. II (page 17) reproduit un extrait d'enregistrement d'une telle période. L'état d'éveil qu'il représente n'exclut pas une certaine efficacité à l'une ou l'autre tâche, mais il ne permet qu'une réponse partielle et instable aux exigences de la situation. L'attention est vacillante, son orientation précaire et son champ limité : l'exécution simultanée de deux tâches simples n'est plus possible. La planche III illustre une période transitoire entre cet état de moindre éveil et l'entrée en sommeil : période très rarement rencontrée au cours des expériences et qui s'inscrit sur ce même continuum veille-sommeil.

La notion d'orientation de l'attention, suggérée ici par un exemple clinique, s'impose en outre comme élément majeur d'explication au problème que nous aborderons maintenant.

4. - Indépendance de l'E.E.G. et du facteur « introversion-extraversion ».

On a signalé antérieurement (TARRIERE et HARTMANN, 1965), et ce fait recoupe les observations d'un certain nombre d'auteurs, que la performance en situation de surveillance était meilleure chez les introvertis que chez les extravertis.

On pouvait donc s'attendre, en procédant à une analyse de tracés E.E.G. des uns et des autres, que les premiers diffèrent des seconds sous l'angle des divers critères adoptés : densité, fréquence et amplitude de l'alpha; or, la différence observée n'est pas significative.

On peut en juger par le tableau ci-dessous :

TABLEAU IV

Répartitions comparées des introvertis (10 sujets) et des extravertis (11 sujets) selon le critère de la densité de leurs tracés électroencéphalographiques en rythme alpha au cours de la tâche-

|                | Fumeurs    |              |            |            |              |            |
|----------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|
|                | $\alpha 0$ | $\alpha \pm$ | $\alpha +$ | $\alpha 0$ | $\alpha \pm$ | $\alpha +$ |
| Introvertis .. | 90 %       | 0 %          | 10 %       | 50 %       | 40 %         | 10 %       |
| Extravertis .. | 72,7 %     | 27 %         | 0 %        | 45 %       | 27,5 %       | 27,5 %     |
|                | avec tabac |              |            | sans tabac |              |            |

Chez les uns et les autres, l'alpha est plus fréquent en condition sans tabac et, à l'intérieur de chaque condition, la répartition des sujets au point de vue densité d'alpha est sensiblement la même, qu'ils soient introvertis ou extravertis.

Il en va de même en ce qui concerne l'alpha enregistré avant la tâche (cf tableau V).

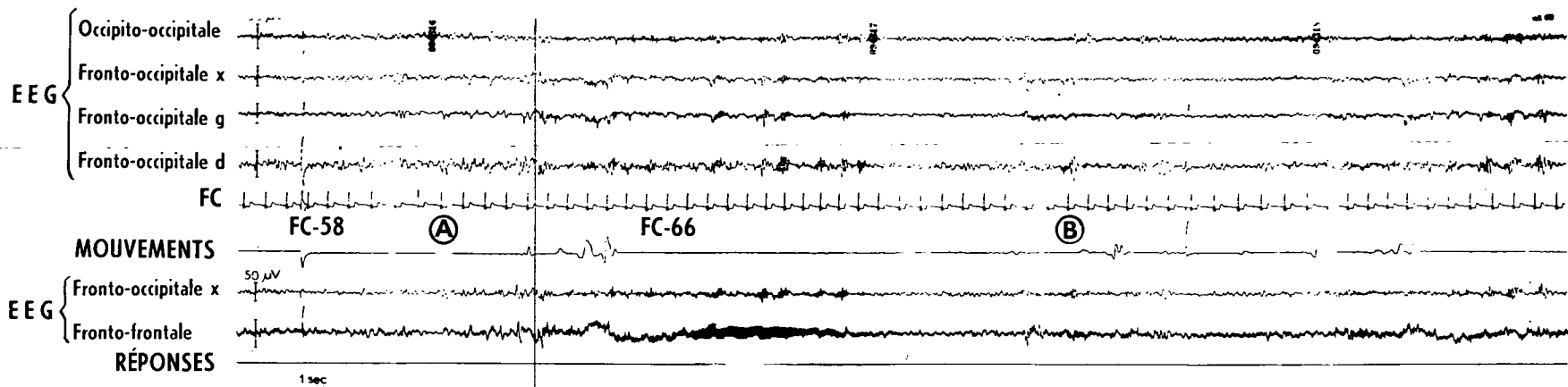
TABLEAU V

Répartitions comparées des introvertis (10 sujets) et des extravertis (11 sujets) selon le critère de la densité de leurs tracés E.E.G. en rythmes alpha avant la tâche.

|                | $\alpha 0$     | $\alpha \pm$ | $\alpha +$ | $\alpha 0$ | $\alpha \pm$ | $\alpha +$ |
|----------------|----------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|
|                | Introvertis .. | 0 %          | 20 %       | 80 %       | 10 %         | 30 %       |
| Extravertis .. | 18 %           | 27 %         | 65 %       | 27 %       | 18 %         | 65 %       |
|                | avec tabac     |              |            | sans tabac |              |            |

Au point de vue amplitude de l'alpha, le voltage moyen des bouffées les plus amples présentées par les quatre sujets les plus introvertis est de 24,3  $\mu$ V, celui des cinq sujets extravertis de 25,6  $\mu$ V pour des performances respectives de 19 % et de 32,5 % d'omissions. Ceci a été mesuré sur les enregistrements exécutés « sans tabac ».



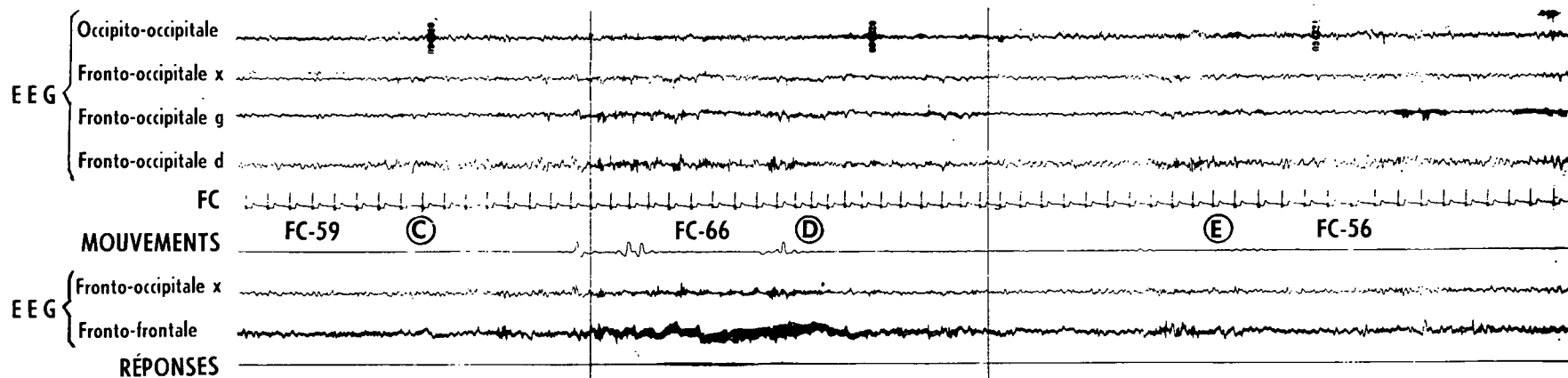


REPÈRES MOBILE

Rythmes d'endormissement.  
Le mobile n'est plus contrôlé.

Accélération du tracé. Alternance de rythmes alpha et thêta.  
Légers mouvements du sujet sur le siège.  
Reprise du contrôle du mobile.

— 25 —



REPÈRES MOBILE

Réapparition de rythmes d'endormissement.

Le tracé s'accélère.  
La trajectoire du mobile est corrigée.

Nouvel endormissement.  
Perte du contrôle du mobile  
Le signal ne sera pas détecté.

Signal

Planche III : Fluctuations de la vigilance d'un sujet au seuil de l'endormissement.

En fréquence de l'alpha avant l'activité, on n'observe aucune différence nette : introvertis 9,9 c/s, et extravertis 10,0 c/s, toujours « sans tabac »; il en va de même pendant l'activité : introvertis 9,1 et extravertis 9,0.

Les sujets sur lesquels a porté cette analyse de fréquence se différencient très peu sous l'angle de la performance (introvertis 15 % d'omissions, extravertis 22 %). On a recherché une différence éventuelle de fréquence entre les quatre sujets les plus introvertis et les quatre sujets les plus extravertis (dont les pourcentages d'omissions sont respectivement de 10,6 % et 25 %), mais là non plus ce critère ne les départage pas : introvertis : 9,5 c/s; extravertis : 9,8 c/s.

### 3. - DEGRÉS DE COHÉRENCE DES CRITÈRES PHYSIOLOGIQUES ENTRE EUX ET AVEC LA PERFORMANCE

Au terme de cette analyse des informations fournies par l'électroencéphalogramme, il est intéressant de dresser un bilan qui indique la portée et les limites des critères physiologiques au cours d'une activité monotone.

On a souligné la bonne sensibilité de l'E.E.G. au facteur tabac, particulièrement lorsque les mêmes sujets servent à leur propre contrôle; cette sensibilité est aussi le fait de la fréquence cardiaque.

Cependant, ces critères manquent de cohérence, aussi bien lorsqu'on compare leurs évolutions respectives au cours de la tâche effectuée par les sujets que lorsqu'on les met en relation avec les divers niveaux de performance réalisée à cette tâche.

Pour le premier point, on a vu que seules l'amplitude et la densité des rythmes alpha évoluaient de la même manière, et ce en accord avec les fluctuations de la performance (fig. 17, page 22). Pour mieux quantifier cette information, on peut l'exprimer par le tableau ci-dessous (tableau VI) qui donne les valeurs de l'évolution de la densité et de l'amplitude de l'alpha, de la première à la dernière heure de la tâche de surveillance, et ceci pour trois groupes de sujets : le groupe I, qui présente une baisse de performance de 60 %, le groupe II, dont la performance est stable, et le groupe III dont le score s'améliore de la première à la dernière heure.

On peut voir dans ce tableau qu'amplitude et densité de l'alpha croissent de la première à la dernière heure et que cette augmentation, qui est forte pour le groupe dont la performance baisse, est faible pour le groupe dont la performance s'améliore. Une telle correspondance ne se retrouve pas pour la fréquence de l'alpha, ni pour le rythme cardiaque dont l'évolution ne suit pas celle des deux variables précédentes, ni celle de la performance.

Rappelons que, si l'on met en relation les divers critères E.E.G. avec les performances à la tâche de surveillance, on n'obtient de corrélation significative que pour l'amplitude de l'alpha ( $\rho$  de Spearman = .37).

TABLEAU VI

Evolution (en pourcentage) de la performance, de la densité et de l'amplitude de l'alpha, de la première à la dernière heure de la tâche, chez 11 sujets divisés en 3 groupes selon que leur performance se dégrade (groupe I), se maintient au même niveau (groupe II) ou s'améliore (groupe III).

|               | Nombre d'omissions | Densité de l' $\alpha$ | Amplitude de l' $\alpha$ |          |
|---------------|--------------------|------------------------|--------------------------|----------|
| Groupe I...   | + 60 %             | + 62 %                 | + 8 %                    | 4 sujets |
| Groupe II...  | 0                  | + 25 %                 | + 5 %                    | 4 sujets |
| Groupe III... | - 41 %             | + 12 %                 | + 4 %                    | 3 sujets |

L'hypothèse d'une relation entre niveau de fréquence cardiaque et performance globale n'a pas été testée, faute d'avoir pu — pour des raisons de temps — enregistrer le pouls de repos des sujets, qui eût servi de valeur de référence au pouls recueilli pendant l'expérience. Une telle corrélation ne s'était toutefois pas révélée significative lors d'une recherche antérieure où la tâche était de même type qu'ici.

Notons aussi que, dans le cas présent, l'importance du ralentissement du rythme cardiaque au cours de la tâche n'est en corrélation ni avec les critères E.E.G., ni avec l'évolution de la performance.

Donc, si les variables physiologiques prennent toutes, en présence du facteur tabac, des valeurs qui traduisent bien une élévation du niveau d'activation des sujets, elles s'accordent de manière moins homogène avec l'efficacité dont ces sujets témoignent à la tâche de surveillance. Ceci constitue l'observation clé dont la discussion qui suit se propose de dégager la signification générale et les conséquences pour des recherches ultérieures.

## IV. - DISCUSSION

### 1. - VARIÉTÉS DES SIGNES ÉLECTROENCÉPHALOGRAPHIQUES RENCONTRÉS EN SIMULATION DE CONDUITE MONOTONE

Les rythmes rapides d'éveil (supérieurs à 13 c/s) prédominent nettement dans nos tracés; cette modalité électroencéphalographique représente en effet à elle seule le niveau d'éveil de 80, 50 ou 32 % des sujets selon qu'ils étaient fumeurs, fumeurs privés de tabac ou non-fumeurs (tableau I) (page 18). Les rythmes autres que l'alpha étant exceptionnels, on peut considérer que le complément de ces pourcentages représente la fréquence avec laquelle les rythmes alpha sont retrouvés dans les enregistrements.

Il est rare que, pendant les expériences d'aussi longue durée, en situation monotone, on observe un aussi bon maintien du niveau d'éveil. ANGIBOUST (1965 rapport non publié) note l'apparition de signes de somnolence et de sommeil qui croissent en nombre à mesure que l'expérience se prolonge, bien que les deux heures de la tâche classique de vigilance à laquelle il soumet ses sujets soient régulièrement interrompues par des périodes de repos ou de travail à une tâche annexe.

HAIDER (1963) ne décrit pas les différents types de tracés qu'il observe en situation de vigilance, mais il fait état de fréquences moyennes de 5,6 c/s pour les signaux non-détectés et de 8,9 c/s pour les signaux détectés. Ces fréquences moyennes observées dans les zones mesurables au-dessous de 12 c/s qui englobent ainsi les rythmes alpha semblent représenter des tracés beaucoup plus ralentis que ceux que nous avons nous-mêmes enregistrés.

Dans des tâches de détection un peu différentes (signaux nombreux et durées de travail courtes par session de 10 mn) effectuées avant et après privation de sommeil, WILLIAMS, LUBIN et GOODNOW (1959) font apparaître des densités d'alpha très supérieures à celles que nous observons dans des tâches de beaucoup plus longue durée (80 % d'alpha en période de référence sur la figure 18). La densité d'alpha diminue après privation de sommeil, mais dans cette situation la disparition de l'alpha correspond à une baisse du niveau de vigilance : les rythmes alpha sont remplacés par des rythmes plus lents.

MALMO ET SURVILLO (1960), pour une tâche de poursuite effectuée les yeux fermés (détection d'une résistance mécanique), montrent que l'amplitude de l'alpha diminue au cours de sessions successives de 5 mn. Leur référence à d'autres données physiologiques permettait aux auteurs d'interpréter cette baisse d'amplitude comme traduisant une activation de l'organisme. La performance ne s'améliore pourtant que chez un sujet, elle se détériore au cours du temps chez les deux autres.

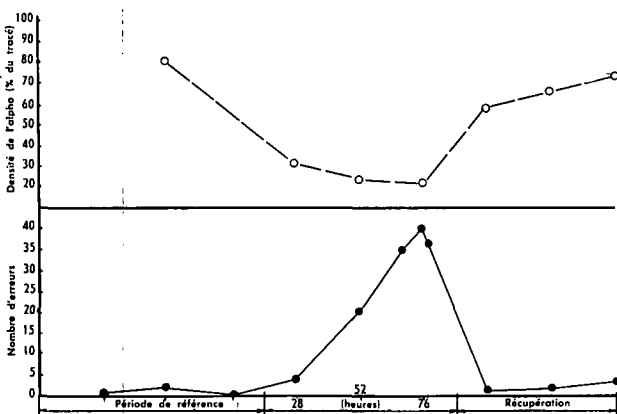


FIG. 18. — Évolution comparée de la performance et de la densité en rythme alpha au cours d'une tâche de vigilance auditive (hypothèse de l'assouplissement).  
D'après WILLIAMS, LUBIN, GOODNOW,

Ces derniers résultats sont les seuls qui font apparaître un niveau d'activation égal ou supérieur à celui que nous avons observé pour notre échantillon; encore faut-il souligner que cette tâche très stimulante et, au cours de laquelle, toutes les cinq minutes, les sujets étaient avertis de leur score et le voyaient comparé au score le meilleur, était beaucoup plus favorable que la nôtre au maintien de l'éveil.

De ces comparaisons nous retirons l'idée que la quasi totalité de nos sujets, en gardant un très bon niveau d'éveil pendant les 2 heures 30 de la tâche, et en ne présentant qu'une augmentation de la densité d'alpha au cours du temps, se révèlent très motivés. La simulation de la conduite automobile, le volontariat des sujets, le transfert « réalité-simulation » sont sans aucun doute des éléments qui favorisent cette motivation.

## 2. - RAPIDITÉ DES FLUCTUATIONS DE L'ÉTAT VIGILE

Nous avons observé un conditionnement du niveau de vigilance à la durée, manifeste pour certains sujets dans la tâche de guidage. Ce conditionnement met en évidence une fluctuation régulière de la vigilance toutes les 15 ou 20 secondes, durée qui correspond au temps que met le mobile pour se déplacer d'un repère à l'autre. Nous avons vu que cette fluctuation peut être beaucoup plus rapide et l'apparition d'une brève bouffée d'alpha pendant une seconde peut entraîner la non-détection d'un signal alors que 2 ou 3 secondes plus tôt le sujet corrigeait efficacement la trajectoire du mobile.

Ces possibilités de fluctuations rapides de la vigilance sont connues. Des alternances de sommeil et de veille avaient déjà été décrites par LOOMIS et Coll (1937) et par GASTAUT et Coll. (1957), entre des réponses émises par des sujets au rythme d'une par minute ou par demi-minute. OSWALD (1959) en rapporte de beaucoup plus spectaculaires puisqu'il observa des signes de sommeil survenant entre des signaux apparaissant régulièrement à intervalle inférieur à 30 secondes : chocs électriques toutes les 9 ou 17 secondes, stimuli auditifs toutes les 10, 5 ou même 3 secondes.

OSWALD remarque que le sommeil qui alterne avec l'éveil avec une périodicité de 3 secondes, ne correspond pas à l'acception classique du terme. Cependant, il rappelle qu'il n'y a pas de dichotomie entre veille et sommeil mais un continuum et donne sa préférence au terme « vigilance » pour désigner ce niveau d'éveil fluctuant observé dans de nombreuses tâches difficiles ou peu stimulantes.

D'autres auteurs cités par OSWALD avaient pressenti la possibilité de fluctuations aussi rapides : MILES (1929) par l'étude des mouvements des yeux, MAGNUSSEN (1944) par l'étude de la respiration, BJERNER (1949) par l'étude des corrélations entre

la performance et l'électroencéphalogramme après privation de sommeil, décrivent également de brèves périodes, d'une durée de quelques secondes, qu'ils assimilent à des endormissements.

La mise en évidence de fluctuations aussi rapides du niveau d'éveil pendant l'accomplissement d'une tâche revêt une grande importance pratique qu'il convient de souligner. Elle donne un support objectif aux défaillances du système nerveux central que nous évoquons au chapitre I et que l'interview avait définies comme étant des baisses de vigilance ou des assouplissements de brève durée.

On s'explique alors la vraisemblance de ces brefs assouplissements au volant que rapportent parfois des passagers d'automobile alors que le conducteur avait révélé son éveil quelques instants plus tôt par un mot ou par son comportement.

La vraisemblance d'une aussi grande vitesse de fluctuation peut se fonder sur un ensemble de données psycho-physiologiques et neurophysiologiques concernant la régularisation de l'activité cérébrale. Citons à titre d'exemple les travaux de LACEY et LACEY (1958-1965) qui montrent l'existence de variations très rapides (en quelques secondes) de l'efficacité corticale. Ils établissent, d'une part, une corrélation positive entre le niveau de la fréquence cardiaque ou l'amplitude de ses variations et le temps de réaction, d'autre part, une corrélation négative entre l'amplitude de la variation de pression sanguine systolique et le temps de réaction. Une médiation des sinus carotidiens expliquerait ces résultats comme le suggèrent les auteurs en rappelant certaines données obtenues en neurophysiologie animale : BONVALLET, DELL et HIEBEL (1954) montrent une réduction de l'activité corticale en réponse à une distension du sinus carotidien; KOCH (1932) en augmentant la pression sinusale provoque une relaxation musculaire et BONVALLET, DELL et HUGELIN (1954) établissent que les barorécepteurs exercent un effet inhibiteur sur l'activité motrice spinale. Or les variations d'activation corticale suggérées par LACEY et LACEY seraient très rapides puisque la décélération cardiaque responsable du raccourcissement du temps de réaction s'observe sur une durée moyenne équivalente à 2 ou 3 pulsations, soit 2 ou 3 secondes.

### 3. - SIGNIFICATION FONCTIONNELLE DE L'ALPHA

**Les rythmes alpha comme critère d'évolution de l'efficacité.**

#### 1. - *La présence et la densité des rythmes alpha.*

Nous avons noté plus haut (chapitre IV § 1) que le niveau d'éveil moyen de nos sujets se révélait supérieur à celui observé au cours d'expériences présentant quelque similitude avec les nôtres. Même pendant

des expériences de jour, des signes de sommeil sont souvent retrouvés (OSWALD 1959, ANGIPOUST 1965). Dans les expériences moins monotones, mais après privation de sommeil, c'est aussi ce qui est observé (BJERNER 1949, ARMINGTON et MITNICK 1959, WILLIAMS, LUBIN, GOODNOW 1959). Ces derniers auteurs, en ne prenant comme critère que la présence de l'alpha, étaient réduits à formuler des hypothèses sur ce que signifiait la disparition de ce rythme.

En fait dans beaucoup d'expériences, les rythmes alpha constituent le niveau d'éveil de référence. Ces rythmes de base peuvent disparaître en faisant place à des rythmes plus rapides (hypothèse de l'activation) ou à des rythmes plus lents (hypothèse de l'assouplissement).

Il est donc illusoire d'espérer obtenir un critère objectif unique de la « fatigue » dans une caractéristique particulière de l'électroencéphalogramme. Les discussions qui rebondissent parfois à propos de la validité de l'indice alpha (qui exprime la densité de ces rythmes dans le tracé) pour traduire l'efficacité des sujets dans une tâche ne reflètent souvent que cette ambiguïté de l'alpha et la difficulté d'interpréter un état de l'organisme sur les seules variations de l'alpha considérées isolément. Constater que, selon les cas, la présence de rythmes alpha est liée à une bonne performance (BJERNER 1949, SIMON et EMMONS 1956, ARMINGTON et MITNICK 1959, WILLIAMS, LUBIN et GOODNOW 1959, OSWALD 1959, HAIDER 1963) ou à une mauvaise performance (TYLER-GOODMAN et ROTHMAN 1947; STENNET 1957; MALMO et SURVILLO 1960), ne suffit pas à remettre en cause la signification de l'alpha en ce qui concerne l'efficacité.

En fait, la cohérence des résultats est au contraire très satisfaisante. L'analyse des résultats obtenus pour des tâches aussi différentes qu'une simple détection de signaux, qu'un calcul mental, qu'une estimation de la durée, qu'une reconnaissance de formes montre que toute désactivation du tracé par passage de rythmes bêta aux rythmes alpha, ou des rythmes alpha aux rythmes de fréquence inférieure à 8 c/s s'accompagne toujours d'une détérioration de l'efficacité, et, inversement, toute activation de l'électroencéphalogramme s'accompagne d'une amélioration de l'efficacité.

Il faut considérer la présence de l'alpha comme témoin d'un état d'activation ou de désactivation selon la nature de la tâche et, plus précisément, selon le niveau d'activation optimal qu'elle requiert : pour une tâche facile, l'alpha permettra d'assurer une bonne efficacité et représentera le niveau d'activation optimal; pour une tâche difficile, l'alpha représentera un niveau d'activation insuffisant par rapport au niveau qu'une bonne efficacité requiert. MULHOLLAND (1962), pour des tâches mentales, établit une dépendance significative entre les périodes « sans alpha » et le degré de difficulté de la tâche.

Ainsi, bien que les rythmes alpha possèdent une signification fonctionnelle précise, il apparaît qu'un simple filtre d'analyse en fréquence qui signale la présence ou l'absence de rythmes dans la gamme de 8 à 12 c/s ne suffit pas à l'interprétation. En effet, l'absence d'alpha peut traduire tout aussi bien une activation qu'une désactivation. Il est donc très important de considérer l'ensemble du spectre ou encore de considérer les informations apportées par d'autres témoins du niveau d'activation de l'organisme tels que les fréquences cardiaque et respiratoire ou la résistance électrique cutanée ou la résistance vasculaire périphérique. Des caractéristiques de l'alpha autres que sa présence et sa densité : l'amplitude et la fréquence en c/s de ces rythmes, doivent être aussi considérées. C'est l'intérêt de ces caractéristiques que nous allons maintenant examiner.

## 2. - L'amplitude et la fréquence des rythmes alpha.

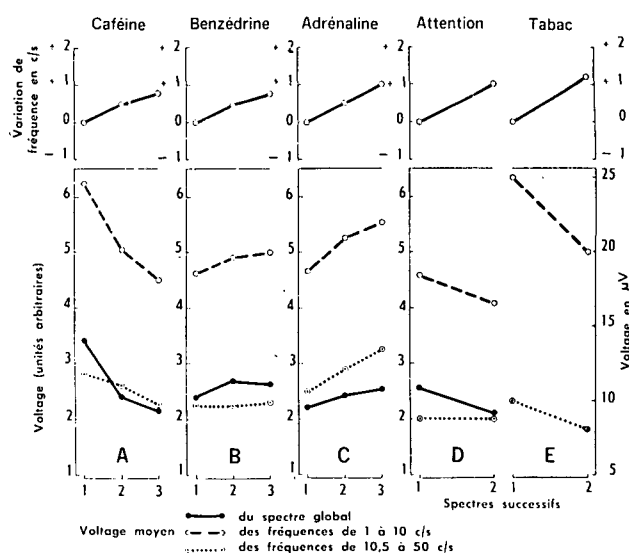
Nos résultats ont montré en effet qu'on pouvait analyser plus finement l'électroencéphalogramme qu'en notant seulement la présence (et la densité) ou l'absence des rythmes alpha : l'amplitude et la fréquence de ces rythmes sont également susceptibles de se modifier au cours du temps et sous l'influence de certains facteurs.

On sait que toute activation de l'organisme se traduit par une accélération des rythmes de l'électroencéphalogramme et une diminution de leur voltage. La réaction d'arrêt (blocage de l'alpha) n'est autre que cette double manifestation lors du passage de l'alpha au bêta, à l'ouverture des yeux par exemple.

Cette double manifestation peut s'observer également à l'intérieur même de la gamme des fréquences alpha et de nombreux auteurs l'ont décrite : GIBBS et MALTBY (1943) montrent que l'ouverture des yeux, ou l'ouverture des yeux et la lecture, entraîne une accélération de la fréquence résultante de l'alpha (d'un 1 c/s environ) et une diminution de l'amplitude du tracé. Les mêmes auteurs en 1949, étudiant les effets d'un certain nombre de drogues, montrent que des stimulants tels que la caféine, la benzédrine, l'adrénaline, accélèrent la fréquence dominante des rythmes alpha de 0,5 à 1 c/s et, selon les cas, diminuent ou parfois augmentent légèrement l'amplitude des rythmes alpha. A l'inverse, les drogues sédatives : phénobarbital, pentothal, morphine, tendent à ralentir la fréquence et à augmenter le voltage du tracé (fig. 19).

MARTINSON (1939), recherchant une corrélation entre l'E.E.G. et le blocage mental dans les tâches répétitives, montre que la fréquence de l'alpha s'accélère de 0,2 à 0,5 c/s pendant le travail par rapport aux périodes de repos. (Cette accélération de la fréquence s'accompagne d'une diminution de la densité d'alpha).

Enfin plus récemment, MALMO et SURVILLO (1960), dans une tâche de poursuite difficile, montrent que



A - B - C - D d'après GIBBS et MALTBY 1943  
 Pour A - B - C : les nombres en abscisse désignent des spectres successifs correspondant en fait à des effets croissants de la drogue (sauf 1 qui représente une référence sans drogue).  
 Pour D : 1 = yeux fermés et 2 = yeux ouverts pendant la lecture.  
 Pour E : 1 = privation de drogue et 2 = avec drogue.

FIG. 19. — Effets de drogues stimulantes sur l'E.E.G.

la diminution d'amplitude de l'alpha équivaut à une activation.

Mais à l'opposé, SIMON et EMMONS (1956) constatent que le ralentissement de la fréquence de l'alpha (atteignant 2 c/s), accompagné cette fois d'une décroissance d'amplitude, est en corrélation avec une baisse de la probabilité de répondre à certaines questions ou de se rappeler ces mêmes questions.

De même, ANLIKER (1963) observe que l'appréciation du temps est d'autant moins rigoureuse que le voltage moyen de l'alpha est plus bas.

On retrouve ainsi, en ce qui concerne l'amplitude des rythmes alpha, l'ambiguïté que nous rappelions plus haut au sujet de la présence de l'alpha et de ses variations de densité au cours de l'activité. Une diminution d'amplitude peut traduire une activation ou une désactivation; dans ce dernier cas, les rythmes alpha représentent en quelque sorte un stade de transition vers le sommeil.

## Comparaison des efficacités obtenues en contexte E.E.G. alpha ou bêta.

Nous avons montré que la probabilité de détecter un signal visuel est meilleure quand ce signal survient en présence de rythmes bêta plutôt qu'en présence de rythmes alpha.

Pour d'autres caractéristiques de la tâche à accomplir, OSWALD (1959) note que l'alpha réapparaît lors de la survenue du signal et que des signaux qui ne font pas apparaître l'alpha ne sont habituellement pas suivis de réponse. Comme nous l'avons vu au

chapitre précédent, l'alpha peut traduire un état de désactivation ou d'activation.

Il ressort que si l'efficacité en alpha est moindre qu'en bêta, elle n'est pas négligeable et, si la tâche est facile, on peut ne pas trouver de différence entre les performances obtenues dans les deux contextes électroencéphalographiques.

Ainsi LINDSLEY (1958) montre que — en absence d'avertissement préalable — le temps de réaction à un signal n'est pas différent en contexte E.E.G. alpha ou bêta. Ce résultat a été confirmé par FRAISSE, DURUP et VOILLAUME (1959) qui ne trouvent « aucune différence des temps de réaction, que l'alpha soit normal, bloqué ou réduit ». FRAISSE et VOILLAUME (1961) parviennent à un résultat équivalent en prenant comme critère d'efficacité non plus le temps de réaction mais la capacité d'appréhension (nombre de lettres perçues au tachistoscope).

Plus récemment, DUSTMAN, BOSWELL, PORTER (1962) — toujours sans avertissement préalable à la survenue du signal — réussissent à mettre en évidence une différence faible, mais significative, dans les temps de réaction en alpha et bêta. Il semble que ce résultat positif puisse être attribué à la technique de présentation des signaux employée par les auteurs. Le signal visuel est émis automatiquement par un système électronique générateur de stimuli, système déclenché par une impulsion fournie par les rythmes cérébraux du sujet. Les signaux visuels présentés sont donc présélectionnés en fonction des caractéristiques du tracé.

Dans l'expérience de DUSTMAN et Coll., la présélection des signaux était effectuée pour les fréquences dominantes de l'alpha ou du bêta et l'émission se réalisait 40 ms avant la phase d'excitabilité corticale maximale de ces rythmes<sup>1</sup>. Ces précautions techniques permettaient de différencier la durée des temps de réaction dans ces deux contextes E.E.G. La différence n'est que de 12 ms, mais elle est très significative (.001), (18 sujets sur 20 ont des temps de réaction plus courts en bêta qu'en alpha). La plus grande variabilité des rythmes bêta rendrait plus difficile l'atteinte de la phase d'excitabilité maximale pour ces derniers rythmes et introduirait ainsi une erreur expérimentale qui réduit l'avantage réel des rythmes bêta.

Quoi qu'il en soit, ce résultat de DUSTMAN montre que l'état du système nerveux central correspondant aux rythmes bêta ne se confond pas avec l'état d'efficacité optimal de l'organisme. En effet, alors qu'un gain de 12 ms n'est obtenu (en bêta par rapport à l'alpha) qu'au prix d'un raffinement expérimental assez important, on observe — par le seul avertis-

sement de la survenue du signal, c'est-à-dire par mise en alerte de l'organisme — une économie atteignant 74 ms dans le meilleur des cas (période préparatoire de 0,3 à 1 seconde) (LINDSLEY 1958).

Ce fait ne veut d'ailleurs pas dire que l'alerte psychologique est indépendante de l'état d'alerte physiologique, mais simplement que la présence de rythmes bêta ne suffit pas à caractériser cet état d'alerte psychologique. Une analyse en fréquence des rythmes bêta permettrait sans doute d'éclairer ce débat. GIBBS et MALTBY (1943) n'ont-ils pas montré que c'est l'organisation du spectre complet des fréquences corticales qui est susceptible de se modifier?

#### 4. - INTÉRÊT ET LIMITES DE L'ACTIVATION COMME CRITÈRE D'EFFICACITÉ

L'enregistrement des variables physiologiques et leur mise en relation avec les critères d'efficacité des sujets dans l'exécution d'une tâche de surveillance visaient à décrire de manière synthétique des modalités d'adaptation du comportement à une situation de conduite monotone. On faisait donc l'hypothèse que les données physiologiques pouvaient non seulement compléter les données opératoires, mais aider également à interpréter ces dernières. C'est par rapport à cet objectif qu'il faut juger de l'intérêt et de la portée des résultats.

Il ressort des observations faites dans cette expérience qu'un certain niveau d'activation — dont on ne peut dire s'il est, ou non, le même pour tous les individus — est favorable à l'exécution de la tâche de surveillance, mais qu'il n'est pas le seul facteur déterminant l'efficacité des sujets à cette tâche.

Le rôle joué par ce facteur d'activation est bien mis en évidence par les effets de la fumée de tabac sur la performance. Le fait qu'un facteur de stimulation tel que le tabac provoque une amélioration de la performance simultanément à une élévation du niveau d'activation des fumeurs dont les critères physiologiques rendent bien compte, prouve l'existence d'une liaison entre ces deux variables. Mais l'accroissement d'efficacité n'est pas proportionnelle à l'accroissement de l'activation. Certains sujets améliorent beaucoup leur efficacité avec le tabac, sans pour autant que leur niveau d'activation ait beaucoup évolué par rapport à leur passation sans tabac; d'autres montrent des signes d'une activation très accrue mais leur surveillance n'est pas meilleure. Cela provient certainement de la variabilité des performances dont un même individu est capable pour un niveau constant d'activation (ou apparaissant comme tel d'après les variables physiologiques enregistrées). A ce sujet, il vient une question que l'on peut ainsi formuler : les rythmes alpha et bêta représentent-ils des niveaux d'activation bien définis et constants?

(1) Selon ces auteurs, l'existence d'une phase d'excitabilité maximale dans le cycle d'excitabilité corticale aurait été clairement établie, au moins pour les rythmes alpha, en ce qui concerne les seuils de réactivité corticale, les temps de réaction et l'exactitude de la perception.

Nous avons montré que la présence des rythmes alpha et bêta ne suffisait pas à caractériser avec finesse un niveau d'activation. Chacun de ces rythmes est susceptible de variations : nous l'avons montré en ce qui concerne l'amplitude et la fréquence de l'alpha. Les modifications des rythmes bêta sont plus difficiles à mettre en évidence par dépouillement visuel des tracés, mais on sait que l'usage d'analyseurs permet d'identifier des remaniements du spectre de ces rythmes bêta sous l'effet de certains facteurs.

Par ailleurs, l'activité cyclique du cerveau à laquelle nous avons déjà fait allusion peut expliquer cette périodicité d'efficacité à la tâche de surveillance pour des caractéristiques inchangées à l'E.E.G. La répartition d'un grand nombre de signaux en correspondance avec cette modulation d'efficacité a toute chance d'être aléatoire, c'est-à-dire qu'il en apparaîtra probablement autant aux moments où elle est à son plus haut niveau qu'à son degré le plus bas — à signes E.E.G. toujours constants, — mais sur un petit nombre de signaux, il peut en survenir davantage en concomitance avec l'un qu'avec l'autre des deux niveaux.

Il semble donc prudent de ne pas tenir pour sûre l'équivalence stricte des niveaux d'activation. Pour saisir dans toute sa complexité le lien activation-performance il faudrait recourir à des techniques d'analyse de l'activation plus fines que celles utilisées dans cette étude : analyse spectrale de l'E.E.G. et, éventuellement, contrôle de l'émission des signaux dans son rapport temporel avec le cycle d'excitabilité corticale.

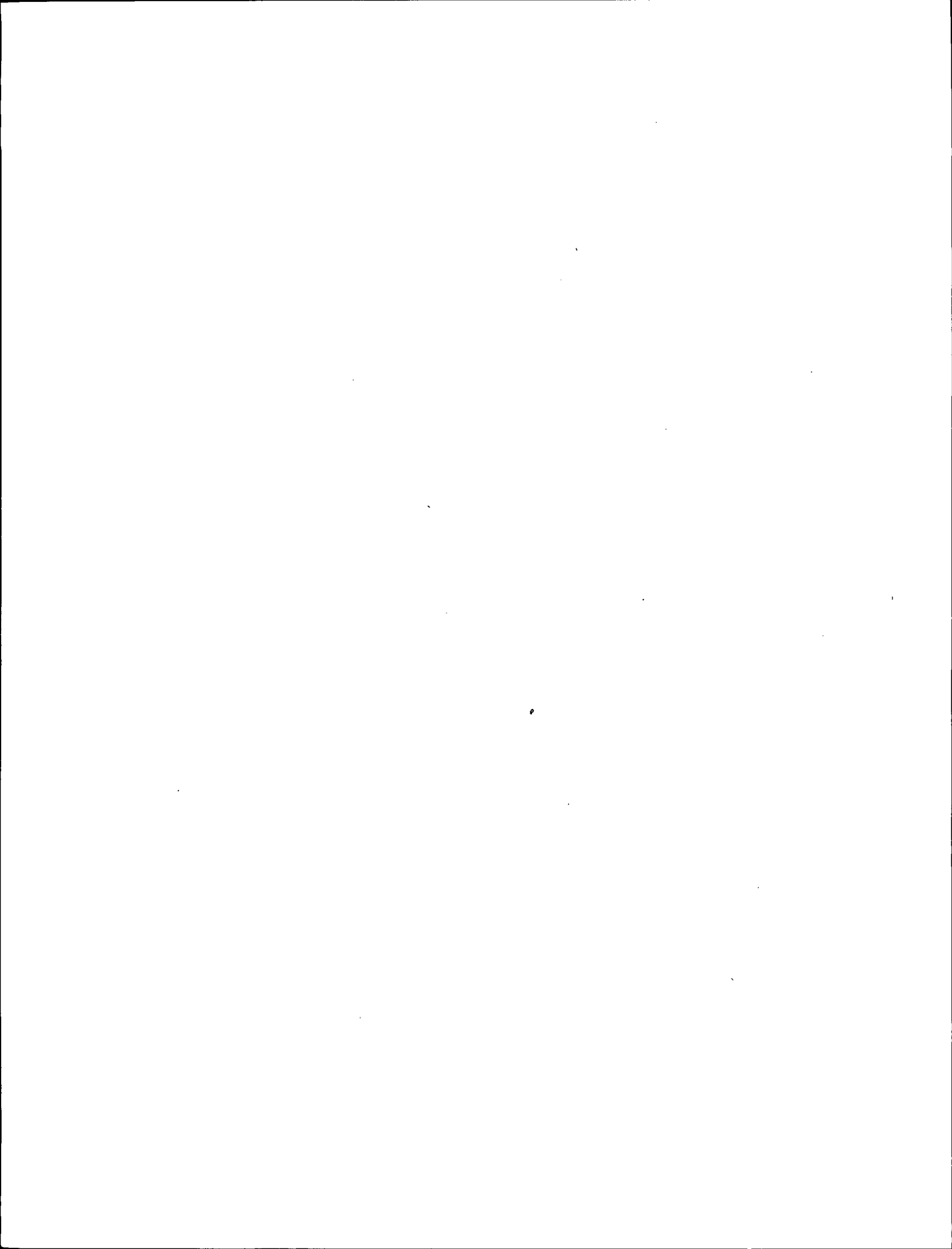
De tels procédés apporteraient à nos résultats certaines nuances mais ils n'amèneraient pas à contester ceci : **que la différence des performances réalisées en correspondance avec des niveaux d'activation postulés équivalents implique l'intervention de facteurs autres que l'activation.**

La différence de comportement des introvertis et des extravertis en est une manifestation claire. Les premiers réalisent un pourcentage de détection supérieur aux seconds, quoique les uns et les autres ne diffèrent pas au point de vue niveau d'activation apprécié par leur fréquence cardiaque et leur E.E.G. L'argument selon lequel l'identité des signes physiologiques n'implique pas nécessairement l'équivalence des niveaux d'activation est ici sans portée : il serait très peu probable, en effet, que cette source de variation ait joué davantage sur un groupe que sur l'autre.

On sait, par ailleurs, que leur activation ne se situe pas à un niveau très élevé attendu que certains présentent une densité de rythme alpha non négligeable.

Donc le ou les facteurs autres que celui d'activation influencent la performance même quand l'état d'éveil des sujets est diminué; ce qui invalide une hypothèse simple selon laquelle l'efficacité de la surveillance serait essentiellement déterminée par l'activation des sujets, jusqu'à un certain niveau au-delà duquel elle serait régie par de tout autres facteurs. Des faits expérimentaux déjà cités l'invalident également, dans une perspective assez différente : LINDSLEY, FRAISSE et Coll., DUSTMAN et Coll., rappelons-le, ont effectué des recherches de corrélation entre temps de réaction et niveau d'activation, d'où il ressort que les seuls rythmes bêta de l'E.E.G. ne constituent pas le critère unique de l'efficacité maximale de l'organisme,

La thèse la plus recevable est que l'état d'éveil détermine une certaine « intensité » de l'attention portée aux stimuli extérieurs (et une certaine réceptivité à ces stimuli), mais que cette intensité ne suffit pas à détecter des signaux parmi d'autres; pour ce faire une orientation particulière de l'attention est nécessaire, qui n'est pas sous la dépendance directe du niveau d'éveil. Cette orientation dépend de plusieurs facteurs : de la motivation des sujets pour la tâche, des hypothèses préalables qu'ils font sur la structure temporelle et sur la fréquence des signaux (c'est ainsi que la fréquence des signaux présentés au cours de l'apprentissage influence la performance qui suivra, comme COLQUHOUN (1964) l'a montré) de la nature des stimuli parasites concurrents, et surtout de la susceptibilité des sujets à la distraction. C'est probablement sous l'angle de ce dernier facteur que les introvertis et les extravertis se différencient. Ajoutons que le rôle joué par le champ de l'attention est important. Une attention intense et diffuse permet la réception de stimuli variés, mais lorsque l'attention se porte vers un type de stimuli particuliers, son champ se réduit jusqu'à neutraliser totalement toute information provenant d'une autre source. Un niveau d'éveil normal, tel que le révèlent les rythmes bêta, correspond sans doute, en situation de surveillance, soit à une attention polarisée sur la source des signaux critiques, soit à une attention diffuse, soit à une attention portée sur des stimuli concurrents. La détection d'un signal est alors très probable dans le premier cas, moins probable dans le second, improbable dans le dernier (la probabilité moyenne est donc assez forte). Lorsque le niveau d'éveil est diminué, comme il en va en présence de rythmes alpha, le champ d'attention est diffus, et le seuil de détection élevé : la probabilité de détection est alors faible et d'autant plus que la source des signaux de la tâche est moins longtemps et moins souvent balayée.





## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les informations fournies par l'E.E.G. permettent de préciser le rôle que joue le niveau d'activation dans l'exécution d'une tâche de surveillance, analogue à la conduite automobile monotone.

Cette participation du niveau d'activation est bien mise en évidence par l'effet facilitateur que la fumée de tabac absorbée exerce sur la surveillance. Sous l'influence de cette drogue les fumeurs réalisent une performance supérieure à celle qu'ils accomplissent lorsqu'ils sont privés de tabac; or leur niveau d'activation est également plus élevé. Cette différence d'activation est indiquée aussi bien par une différence des tracés en densité de rythmes alpha que par une différence de ces rythmes en fréquence et en amplitude. Ces indices d'activation concordent avec la fréquence cardiaque des sujets dont le pouls est plus rapide avec tabac que sans tabac.

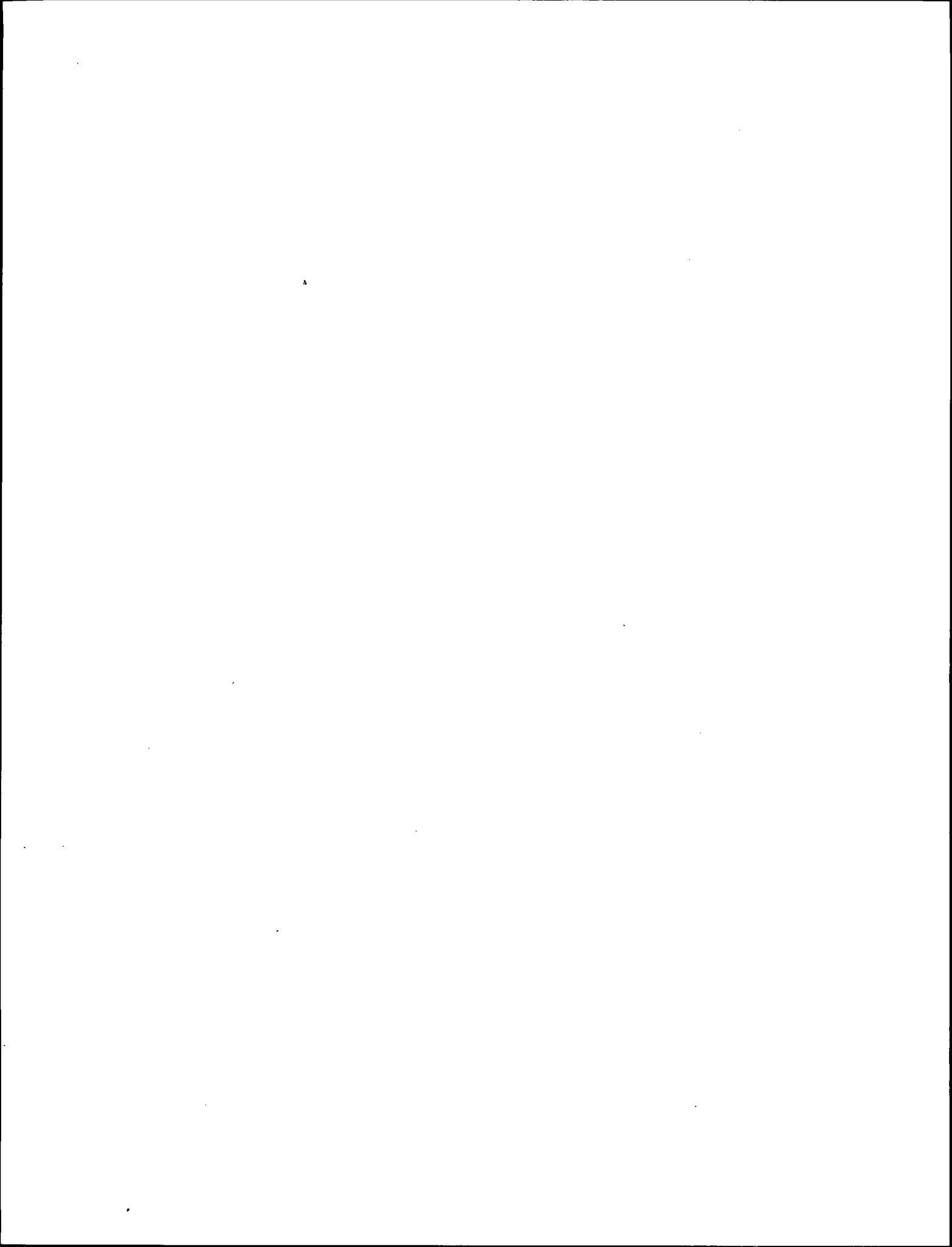
Le rôle joué par le niveau d'activation ne se manifeste pas seulement par le biais de l'action du tabac. Ainsi les sujets dont la densité des tracés en alpha est la plus forte ont une performance inférieure aux autres. De même au cours du déroulement de la tâche la probabilité de détection d'un signal diminue s'il survient en concomitance avec une bouffée d'alpha.

Si on analyse plus en détail cette relation entre E.E.G. et performance on remarque que celle-ci est en corrélation assez bonne (.37) avec l'amplitude de l'alpha. La densité des rythmes alpha et leur fréquence en cycles par seconde ne permettent pas d'établir des corrélations équivalentes. D'une part, les mesures de densité telles que nous les avons effectuées sont moins précises que les mesures d'amplitude. D'autre part, l'absence de corrélation entre la performance et la fréquence de l'alpha en cycles par seconde ne signifie pas pour autant que ce dernier indice n'est pas un critère sensible du niveau d'activation. Ce n'est pas la fréquence absolue qui caractérise le degré d'activation des sujets (la fréquence est une caractéristique individuelle pouvant prendre selon les sujets une valeur de 8 à 12 c/s) mais la variation de cette fréquence pour chaque sujet correspond à une variation d'activation.

S'il existe une cohérence globale entre les indices d'activation et s'il existe une certaine liaison entre le degré d'élévation du niveau d'activation et l'efficacité de la surveillance exercée, leur intercorrélation n'est cependant pas très étroite et ceci indique que le niveau de vigilance physiologique n'est pas le seul facteur à conditionner l'efficacité de la surveillance. Ceci est confirmé par le fait que la supériorité de la performance réalisée par les sujets « introvertis » sur les « extravertis » ne s'accompagne pas d'une différence de niveau d'activation qui soit discernable par l'E.E.G.

C'est probablement à des différences d'orientation de l'attention qu'il faut faire appel pour expliquer ce qui échappe au critère de l'activation. C'est-à-dire que les variations d'efficacité de la surveillance, à niveau constant d'activation, sont sans doute la conséquence de changements d'orientation de l'attention qui se porte, à une fréquence et pendant des durées variables, vers des stimuli autres que les signaux à détecter.

L'intérêt des enregistrements effectués ne se limite pas à ces seules observations. On a noté qu'en dépit d'une stabilité relative de la performance la vigilance présentait chez beaucoup de sujets des fluctuations fréquentes entre le bêta et l'alpha. Bien qu'elles n'affectent pas systématiquement l'efficacité de la surveillance de telles fluctuations perturbent l'exécution des deux tâches simultanées de surveillance et de guidage; à plus forte raison peuvent-elles être préjudiciables à la conduite automobile qui exige, pour présenter le maximum de sécurité, le maintien d'un état d'alerte permanent et l'accomplissement, en même temps, d'activités diverses souvent peu stimulantes.



## BIBLIOGRAPHIE

ANGIBOUST, R.

Aspects biologiques de la mise en condition du personnel dans les systèmes d'alerte continue.  
**Rapport CERMA NP 472, oct. 1965.**

ANLIKER, J.

Variations in Alpha Voltage of the Electro encephalogram and Time Perception.  
**Science U.S.A., 17 mai 1963.**

ARMINGTON, J. C. et MITNICK, L. L.

Electro encephalogram and sleep deprivation.  
**J. Applied Physiol., 14, 2, 1959.**

BAKER, C. H.

Attention to visual displays during a vigilance task.  
I. Biasing attention.  
**Brit. J. Psychol., 49, 4, 1958.**

BAKER, C. H.

Maintenig the level of vigilance by means of artificial signals.  
**J. Applied Psychol., 44, 336-338, 1960.**

BAKER, C.H.

Maintenig the level of vigilance by means of knowledge of results about a secondary vigilance task.  
**Ergonomics, 4, 311-316, 1961.**

BAUMSTIMLER, Y.; WITTERSHEIM, G.; GRIVEL, F.; CUBAYNES, J. P. et PARROT, J.

Analyse expérimentale des processus de vigilance.  
**Centre d'Études de Physiologie appliquée au Travail, Strasbourg 1963.**

VON BERGER, G. P. et LONGO, V. G.

Azione della nicotina sull'attività elettrica cerebrale del coniglio « encefalo isolato ».  
**Boll. Soc. ital. Biol. sper., 29, 431-435, 1953.**

BEXTON, W. H.; HERON, W. et SCOTT, T. H.

Effects of decreased variation in the sensory environments.  
**Canada J. Psychol., 8, 76-80, 1954.**

BICKFORD, R. G.

Physiology and drug action : an electro encephalographic analysis.  
**Fed. Proc., 19, 619-625, 1960.**

BJERNER, B.

Alpha depression and lowered pulse rate during delayed actions in a serial reaction test.  
**Acta Physiol. Scand., 19, Suppl. 65, 1949.**

BONVALLET, M.; DELL, P. et HIEBEL, G.

Tonus sympathique et activité électrique corticale.  
**Electroenceph. clin. Neurophysiol., 6, 119, 1954.**

BONVALLET, M.; DELL, P. et HUGELIN, A.

Influence de l'adrénaline sur le contrôle réticulaire des activités corticale et spinale.  
**J. de Physiol., 46, 262-265, 1954 (Paris).**

BOVET, D.; BIGNAMI, G. et ROBUSTELLI, F.

Action de la nicotine sur le conditionnement à la réaction d'évitement chez le rat.  
**C.R. Académie des Sciences, 778-780, 14 janvier 1963.**

BREMER, F. et TERZUOLO, C.

Contribution à l'étude des mécanismes physiologiques du maintien de l'activité vigile du cerveau. Interaction de la formation réticulée et de l'écorce dans le processus du réveil.  
**Arch. Int. de Physiol., 62, 157-178, 1954.**

BROADBENT, D. E.

Noise, paced performance and vigilance task.  
**Brit. J. Psychol., 44, 295-303, 1953.**

BROADBENT, D. E.

Effects of noises of high and low frequency on behaviour.  
**Ergonomics, 1, 1, 1957.**

BROADBENT, D. E.

Effect of noise on an intellectual task.  
**J. Acoust. Soc. Amer., 30, n° 9, 824-827, 1958.**

BROADBENT, D. E.

Possibilities and difficulties in the concept of arousal.  
**in : Vigilance : A Symposium, 184-198, 1963.**

CARPENTER, A.

The rate of blinking during prolonged visual search.  
**J. Exp. Psychol., 38, 587-591, 1948.**

CASPERS, H.

L'activation de foyers corticaux de courant convulsif pendant le sommeil naturel ou induit par excitation électrique chez l'animal.  
**Ztschr. f. ges. exp. Med., 124, 176-188, 1954.**

COLQUHOUN, W. P.

Role of Pretest Expectancy in Vigilance Decrement.  
**J. exp. Psychol., 68, (2), 156-160, 1964.**

DEESE, J.

Some problems in the theory of vigilance.  
**Psychol. Rev., 62, 359-368, 1955.**

DREVER, J.

Observations sur la relation entre l'électro encéphalogramme et les images visuelles.  
**Rev. de Psychol. Appl., 8, 2, 121-128, 1958.**

DUSTMAN, R. E.; BOSWELL, R. S. et PORTER, P. B.

Beta Brain Waves as an Index of Alertness.  
**Science, 137, n° 3529, 533-534, 1962.**

- FAULKNER, T. W.  
Variability of performance in a vigilance task.  
*J. Applied Psychol.*, 46, 5, 325-328, 1962.
- FAURE, J. et COHEN-SEAT, G.  
Corrélations à partir des effets de la projection filmique sur l'activité nerveuse supérieure.  
*Rev. intern. film.*, n° 18-19, 191, 1954.
- FESSARD, A.; GASTAUT, H.; LEONTIEV, A. N.; de MONTPELLIER, G. et PIERON, H.  
Le conditionnement et l'apprentissage.  
*Symposium Strasbourg 1956 PUF Paris 1958.*
- FRAISSE, P.; DURUP, G. et VOILLAUME, C.  
Alerte psychologique et alerte physiologique. L'indépendance du temps de réaction par rapport à la présence ou au blocage de l'alpha.  
*Année Psychol.*, 59, 345-353, 1959.
- FRAISSE, P. et VOILLAUME, C.  
Capacité d'appréhension, niveau d'attention et blocage du rythme alpha.  
*Année Psychol.*, 61, 51-57, 1961.
- GARVEY, W. D.; TAYLOR, F. V. et NEWLIN, E. P.  
The use of « artificial signals » to enhance monitoring performance.  
*USN Res. Lab. Rep.*, 5269, 1959.
- GASTAUT, H. J. et BERT, J.  
E.E.G. changes during cinematographic presentation.  
*Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 6, 433-444, 1954.
- GASTAUT, H. J.; JUS, A.; JUS, C.; MORRELL, F.; van LEEUWEN, W. S.; DONGIER, S.; NAQUET, R.; REGIS, H.; ROGER, A.; BEKKERING, D.; KAMP, A. et WERRE, J.  
*Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 9, 1, 1957.
- GIBBS, F. A.  
Cortical frequency spectra of healthy adults.  
*J. of Nervous and Mental Disease*, Jan.-Juin 1942.
- GIBBS, F. A. et GIBBS, E. L.  
Atlas of Electro encephalography.  
Addison Wesley Publ. Comp. Inc. Reading, Mass. USA, 1958.
- GIBBS, F. A. et MALTBY, G. L.  
Effects on the electrical activity of the cortex of certain depressant and stimulant drugs — barbiturates, morphine, caffeine, benzedrine and adrenalin.  
*J. Pharmacol. Exp. Ther.*, 78, 1-10, 1943.
- HAIDER, M.  
Experimentelle Untersuchungen über Daueraufmerksamkeit und cerebrale Vigilanz bei einförmigen Tätigkeiten.  
*Ztschr. f. exp. u. angew. Physiol.*, 1, 1-18, 1963.
- HAIDER, M.; SPONG, P. et LINDSLEY, D. B.  
Attention, vigilance and cortical evoked — potentials in humans.  
*Science*, July 10, 145, n° 3628, 180-182, 1964.
- HAUSER, H.; SCHWARZ, B. E.; ROTH, G. et BICKFORD, R. G.  
Electroencephalographic changes related to smoking.  
*Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 10, 576, 1958.
- HERON, W.  
Cognitive and physiological effects of perceptual isolation.  
*Sensory Deprivation, Harvard, Cambridge (Mass.)*, 1961.
- HILL, D. et PARR, G.  
Electroencephalography. A Symposium on its Various Aspects.  
Macdonald and Co. (Publishers) Ltd., London, 1963.
- HUGELIN, A. et BONVALLET, M.  
Étude expérimentale des interrelations réticulo-corticales. Proposition d'une théorie de l'asservissement réticulaire à un système diffus cortical.  
*J. de Physiol.*, 49, 1201-1223, 1957 (Paris).
- HULL, C. L.  
The Influence of Tobacco Smoking on Mental and Motor Efficiency.  
*Psychol. Monogr.*, 35, n° 150, 1-159, 1924.
- JENKINS, H. M.  
Performance on a visual monitoring task as a function of the rate at which signals occur.  
*Lincoln Lab. techn. Rep.*, 47, 1953.
- JENKINS, H. M.  
The effect of signal-rate on performance in visual-monitoring.  
*Amer. J. Psychol.*, 71, 647-661, 1958.
- JERISON, H. J.  
Effects of noise on human performance.  
*J. Applied Psychol.*, 43, 2, 96-101, 1959.
- JERISON, H. J. et ARGINTEANU, J.  
Time judgments, acoustic noise, and judgment drift.  
*WADC Tech. Rep.*, 57-5454, 1958.
- JERISON, H. J. et PICKETT, R. M.  
Vigilance : A Review and Re-evaluation.  
*Human Factors*, 5, n° 3, 211-238, 1963.
- JERISON, H. J. et WALLIS, R. A.  
Experiments on vigilance : one-clock and three-clock monitoring.  
*USAF WADC tech. Rep.*, n° 57-206, 1957.
- JOUVET, M.  
Approches neurophysiologiques des processus d'apprentissage.  
*La Biologie médicale*, 58, 3, 282-360, 1960.
- JOUVET, M. et COURJON, J.  
Variations des réponses visuelles sous-corticales au cours de l'attention chez l'homme.  
*Revue Neurol.*, 99, 1, 177-178, 1958.

- JOUVET, M. et HERNANDEZ-PEON, R.  
Mécanismes neurophysiologiques concernant l'habituación, l'attention et le conditionnement. Conditionnement et réactivité en électro-encéphalographie.  
**Masson et C<sup>ie</sup>, 39-49, 1957.**
- JOUVET, M.; SCHOTT, B.; COURJON, J. et ALLEGRE, G.  
Documents neuro-physiologiques relatifs aux mécanismes de l'attention chez l'homme.  
**Revue Neurol., 100, 5, 437-450, 1959.**
- KIRIHARA, S. H.  
Static fatigue.  
**J. Sci. Lab., 37, 309-314, 1961.**
- KNAPP, D. E. et DOMINO, E. F.  
Évidence for a nicotinic receptor in the central nervous system related to E.E.G. arousal.  
**Fed. Proc., 20, 307, 1961.**
- LACEY, J. I.  
Somatic Response Patterning and Stress : Some Revisions of Activation Theory.  
**Communication au symposium « Issues in Stress », York University, Toronto, Canada, mai 1965.**
- LACEY, B. C. et LACEY, J. I.  
Cardiovascular and Respiratory Correlates of Reaction Time. Appended Preprint Number 3, Progress Report, MH 00623, Fels Research Institute, Yellow Springs (Ohio) June 1965.
- LACEY, J. I. et LACEY, B. C.  
The relationship of resting autonomic activity to motor impulsivity.  
**Res. Publ. Assoc. nerv. ment. Dis., Baltimore, Williams et Wilkins, 36, 144-209, 1958.**
- LAMBIASE, M. et SERRA, C.  
Fumo e sistema nervoso. I. Modificazioni dell'attività elettrica corticale da fumo.  
**Acta neurol., 12, 475-493, 1957 (Napoli).**
- LARSON, P. S.; HAAG, H. B. et SILVETTE, H.  
Tobacco : Experimental and Clinical Studies.  
**Williams et Wilkins Co., Baltimore, 1961.**
- LEPLAT, J.  
Travaux de surveillance et d'inspection : bibliographie commentée de quelques recherches expérimentales.  
**Bull. du CERP, 11, 155-175, 1962.**
- LIBET, B. et GERARD, R. W.  
Automaticity of central neuroses after nicotine block of synapses.  
**Proc. Soc. exp. Biol. N.Y., 38, 886-888, 1938.**
- LINDSLEY, D. B.  
Psychological Phenomena and the Electro encephalogram.  
**Electroenceph. clin. Neurophysiol., 4, 443-456, 1952.**
- LINDSLEY, D. B.  
in : Henry Ford International Symposium : The Reticular Formation of the Brain.  
**518-534, 1958.**
- LONGO, V. G.; von BERGER, G. P. et BOVET, D.  
Action of nicotine and of the « ganglioplegiques centraux » on the electrical activity of the brain.  
**J. Pharmacol., 111, 349-359, 1954.**
- LONGO, V. G. et BOVET, D.  
Studio electro encefalografico dell'antagonismo svloto dai farmaci antiparkinsoniani sui tremori provocati dalla nicotina.  
**Boll. Soc. ital. Biol. sper., 28, 612-615, 1952.**
- LOOMIS, A. L.; HARVEY, E. N. et HOBART, G. A.  
**J. exp. Psychol., 21, 127, 1937.**
- LUCOMSKAJA, N. J.  
Physiologitscheskaja Rol acetylcholina i isiskanije lekarstvennyh veschesto (Rôle physiologique de l'acétylcholine et recherches sur les substances médicamenteuses).  
**Leningrad, p. 73, 1957.**
- MACFARLAND, R. P.  
Human factors in highway transport safety.  
**Boston (Mass.), Harvard School of Public Health, 1954.**
- MACFARLAND, R. P.  
Human variables in motor vehicle accidents.  
**Boston (Mass.), Harvard School of Public Health, 1955.**
- MACFARLAND, R. P.  
Human and environmental factors of automotive safety.  
**Détroit, Society of Automotive Engineers, 1955.**
- MACKWORTH, N. H.  
Researches on the measurement of human performance.  
**Med. Res. Counc. Spec. Rep., n° 268, H.M. Stationery Office, 1950.**
- MAGNUSSEN, G.  
Studies on the Respiration during Sleep.  
**H.K. Lewis, London, 1944.**
- MALMO, R. B. et SURVILLO, W. W.  
Sleep deprivation : changes in performance and physiological indicants of activation.  
**Psychol., Monogr., 74, n° 15, 1960.**
- MARTINSON B., M.  
A study of brain potentials during mental blocking.  
**J. exp. Psychol., 24, 143, 1939.**
- METZ, B. et Coll.  
Fatigue et Sécurité.  
**Centre d'Études de Physiologie appliquée au Travail, Strasbourg 1960.**
- MICHAUT, G. et POTTIER, M.  
Étude du comportement des conducteurs d'automobile : conduite en situation monotone.  
**Cahiers d'Études de l'ONSER, Bull. n° 8, 1964.**
- MILES, W. R.  
**Psychol., Rev., 36, 122, 1929.**

- MIMURA, K.; SATO, K.; OZAKI, T.; HONDA, N. et MASUYA, S.  
On the Physiological signifiacnce of the E.E.G. changes caused by sonic stimulation.  
**Electroenceph. clin. Neurophysiol.**, 14, 683-696, 1962.
- MULHOLLAND, T. et RUNNALS, S.  
A stimulus brain feedback system for evaluation of alertness.  
**J. Psychol.**, 54, 69-83, 1962.
- OSWALD, I.  
Experimental studies of rhythm, anxiety and cerebral vigilance.  
**J. of Ment. Science**, 439, 105, 269-294, 1959.
- PERRET, E.  
Effets psychophysiologiques d'une situation monotone dans différentes conditions expérimentales.  
Thèse, **Juris-Verlag, Zürich**, 1964.
- ROSS, S.; DARDANO, J. et HACKMAN, R. C.  
Conductance levels during vigilance task performance.  
**J. Applied Psychol.**, 43, 1, 1959.
- ROTH, B.  
The clinical and theoretical importance of E.E.G. rythms corresponding to states of lowered vigilance.  
**Electroenceph. clin. Neurophysiol.**, 13, 3, 395-399, 1961.
- SCHNORE, M. M.  
Individual patterns of physiological activity as a function of task difference and degree of arousal.  
**J. exp. Psychol.**, 58, (2), 117-128, 1959.
- SCHWARTZ, P. D. et SHAGASS, C.  
Effect of different stades of alertness on somatosensory and auditory recovery cycles.  
**Electroenceph. clin. Neurophysiol.**, 1, 1962.
- SILVETTE, H.; HOFF, E. C.; LARSON, P. S. et HAAG, H. B.  
The actions of nicotine on central nervous system functions.  
**Pharmacol. reviews**, 14, 137-173, 1962.
- SIMON, C. H. et EMMONS, W. H. :  
E.E.G., Consciousness and Sleep.  
**Science**, 124, 1066-1069, 1956.
- SPONG, P.; HAIDER, M. et LINDSLEY, D. B. :  
Selective attentiveness and cortical evoked responses to visual and auditory stimuli.  
**Science**, 148, 395-397, 1965.
- STENNET, R. G. :  
The relationship of alpha amplitude to the level of palmar conductance.  
**Electroenceph. clin. Neurophysiol.**, 9, 131-138, 1957.
- TARRIERE, C.  
Un moyen d'étude des accidents inexplicés : l'épreuve de vigilance.  
Thèse Méd. Paris, Éditions RNUR, Billancourt (Seine), 115 pages, 1960.
- TARRIERE, C.  
Conditionnement du véhicule et vigilance du conducteur dans la prévention des accidents d'automobile.  
**Revue de la Fédération Internationale de l'Automobile. Automobilsimo e Automobilsimo Industriale**, 2, 89-116, 1964.
- TARRIERE, C. et HARTEMANN, F.  
Étude des effets de l'oxyde de carbone et de la nicotine contenus dans la fumée de tabac sur l'exécution d'une tâche simulant la conduite automobile.  
**Cahiers d'Études de l'ONSER**, 11, 1-27, 1965.
- TARRIERE, C. et REBIFFE, R.  
Intérêt de l'approche clinique de l'expérimentation objective et des interviews effectuées dans un même champ de recherche.  
**Le Travail Humain**, XXVII, 1-2, 185-187, 1964.
- TARRIERE, C. et WISNER, A.  
Effets des bruits significatifs et non-significatifs au cours d'une épreuve de vigilance.  
**Le Travail Humain**, XXV, 1-2, 1-28, 1962.
- TYLER, D. B.; GOODMAN, J. et ROTHMAN, T.  
The effect of experimental insomnia on the rate of potential changes in the brain.  
**Amer. J. Physiol.**, 149, 185-193, 1947.
- VERNON, H. M.  
Accidents and their prevention.  
**The University Press, Cambridge**, 1936.
- WALLIS, D.  
Communication personnelle, 1958.
- WECHSLER, R. L.  
Effects of cigarette smoking and intravenous nicotine on the human brain.  
**Fed. Proc.**, 17, 169, 1958.
- WELFORD, A. T.  
Arousal, Channel-Capacity and Decision.  
**Nature**, 194, n° 4826, 365-366, 1962.
- WILKINSON, R. T.  
Rest pauses in a task affected by lack of sleep.  
**Ergonomics**, 2, 4, 373-380, 1959.
- WISNER, A.  
Vigilance et accidents du travail.  
**III<sup>e</sup> Congrès Mondial de la Prévention, Colloque Métallurgie, U.I.M.M., Édit. Paris**, 1961.
- WISNER, A. et TARRIERE, C.  
Les effets des bruits sur la vigilance en fonction de leurs caractéristiques physiques et psycho-physiques.  
**Acustica**, 14, 4, 1964.
- WILKINSON, R. T.  
The effect of lack of sleep on visual watch-keeping.  
**Quarterly J. of exp. Psychol.**, XII, 1, 36-40, 1960.
- WILLIAMS, H. L.; LUBIN, A. et GOODNOW, J. J.  
Impaired performance with acute sleep loss.  
**Psychol. Monogr.**, 73, n° 14, 1959.