

**LA PRISE D'UNE SIESTE AU COURS DE
L'APRES MIDI AMELIORE-T-ELLE LA
CONDUITE DE NUIT CONSECUTIVE ?**

Rapport Intermédiaire n°3

(Subvention Fondation MAIF n°50.1461)

Centre d'Etudes de Physiologie Appliquée
du CNRS

Strasbourg

Janvier 2002

Responsable scientifique de l'étude :

Alain MUZET (Directeur de Recherche CNRS)

Personnes ayant participé à la rédaction du rapport :

Aurélie CAMPAGNE (étudiante en DEA)
Alain MUZET (Directeur de Recherche CNRS)
Thierry PEBAYLE (Ingénieur de Recherche CNRS)
Joceline ROGE (Maître de Conférence ULP)

Personnes ayant participé à l'étude :

Nadia ANTONI (Assistante de recherche)
Jean BECHT (Assistant Ingénieur CNRS)
Roland ESCHENLAUER (Assistant Ingénieur CNRS)
Maurice GARTNER (Assistant Ingénieur CNRS)
Francis HINKEL (Ingénieur d'Etudes CNRS)
Alain HOEFT (Ingénieur d'Etudes CNRS)
Caroline HOEFT (Assistante de Recherche)
Jean Claude MILLER (Ingénieur d'Etudes CNRS)
Michèle MOESSINGER (Doctorante)

Référence du rapport :

MUZET A., CAMPAGNE A., ROGE J., PEBAYLE T. (2002).

La prise d'une sieste l'après midi améliore-t-elle la conduite de nuit consécutive ?

Rapport n°3, Convention de recherche avec la Fondation MAIF n°50.1461, CEPA-CNRS, 40 pages.

SOMMAIRE

1. Introduction	5
2. Méthodologie	6
2.1. Les sujets	6
2.2. Le protocole expérimental	6
2.3. Les moyens techniques	7
2.3.1. Le dispositif PAVCAS	7
2.3.2. Le circuit	8
2.3.3. Les mesures effectuées	9
2.3.3.1. Les performances de conduite	9
2.3.3.2. Les mesures subjectives	9
2.3.3.3. Les mesures physiologiques	9
2.3.4. Les analyses statistiques effectuées	10
3. Résultats	11
3.1. Résultats concernant la pratique de la sieste préalable	11
3.2. Résultats concernant les performances de conduite	12
3.2.1. Analyses sur l'ensemble de l'épreuve de conduite	12
3.2.1.1. Vitesse moyenne	12
3.2.1.2. Ecart type de la vitesse	13
3.2.1.3. Vitesse maximale	13
3.2.1.4. Vitesse minimale	14
3.2.1.5. Position latérale moyenne	15
3.2.1.6. Ecart type de la position latérale	15
3.2.1.7. Sorties de route	15
3.2.2. Analyses par tours de circuit	16
3.2.2.1. Vitesse moyenne	16
3.2.2.2. Ecart type de la vitesse	17
3.2.2.3. Vitesse maximale	17
3.2.2.4. Vitesse minimale	19
3.2.2.5. Evolutions comparées des vitesses	20
3.2.2.6. Position latérale moyenne	20
3.2.2.7. Ecart type de la position latérale	20
3.2.2.8. Sorties de route	20
3.3. Evaluation subjectives avant et après la conduite	22
3.3.1. Evaluation du niveau de fatigue	22
3.3.2. Evaluation du niveau de somnolence	22
3.3.3. Evaluation de l'état émotionnel et attentionnel	24
3.3.3.1. Evaluation de l'état « alerte »	24
3.3.3.2. Evaluation des capacités de concentration	25
3.3.3.3. Evaluation de l'état émotionnel	26
3.4. Les mesures physiologiques	30
3.4.1. Les électroencéphalogrammes	30

3.4.1.1. Procédure d'analyse	30
3.4.1.2. Choix des bandes et du rapport de fréquence	31
3.4.1.3. Résultats obtenus	32
3.4.2. La fréquence cardiaque	34
4. Discussion	36
4.1. La pratique de la sieste	36
4.2. Les performances de conduite	36
4.2.1. Performances analysées sur l'ensemble de l'épreuve de conduite	36
4.2.2. Performances analysées tour par tour	37
4.3. Les évaluations subjectives	38
4.4. Les mesures physiologiques	38
4.4.1. Les électroencéphalogrammes	38
4.4.2. La fréquence cardiaque	39
5. Conclusions	40

1. INTRODUCTION

L'hypovigilance physiologique et la perte d'attention qui l'accompagne généralement, sont considérées comme étant des raisons majeures dans la survenue des accidents de la route. La fréquence de ces derniers est particulièrement élevée dans des situations de conduite monotone et prolongée, de conduite de nuit ou de conduite en état de fatigue ou encore après la prise de certains médicaments ou produits modifiant le comportement du conducteur.

La qualité de notre état de vigilance et de nos capacités attentionnelles fluctue tout au long de la journée et ceci se répercute sur nos activités physiques et cognitives. Ainsi, nous ne fonctionnons pas de façon identique tout au long de la journée ou de la nuit de travail et nous devons être conscients des limites de nos capacités individuelles. Il est donc nécessaire de prendre en compte les fluctuations biologiques naturelles et de savoir identifier les anomalies du comportement ou les signes de fatigue excessive pouvant s'y associer. L'ignorance ou le refus de reconnaître ces limites sont souvent à l'origine d'accidents graves, voire majeurs, tant sur les lieux de travail que sur la route. Le problème est encore accentué par le fait que l'individu concerné n'est pas toujours capable de juger de son état d'hypovigilance et, par là même, incapable d'apprécier la diminution de ses capacités. Or, l'on sait combien la mauvaise perception d'un signal ou un retard minime dans la prise de décision, peuvent accentuer la dangerosité d'une situation jusqu'alors habituelle.

Après avoir, dans une première partie, abordé les fluctuations circadiennes de la perception visuelle, puis, dans une deuxième partie, étudié les différences pouvant exister entre deux périodes de la journée dans la réalisation d'une tâche de conduite automobile, nous avons tenté ici d'évaluer un éventuel effet bénéfique de la prise d'un repos au cours de l'après midi précédant une épreuve de conduite de nuit. En d'autres termes, notre objectif était d'évaluer le niveau de vigilance et les performances de conduite lors d'une épreuve de conduite nocturne, celle-ci étant précédée ou non, dans l'après midi du même jour, par une prise de repos couché et éventuellement la réalisation d'une sieste.

2. METHODOLOGIE

2.1. LES SUJETS

Seize sujets jeunes (âge moyen de 26 ans 3 mois) des deux sexes (8 sujets féminins et 8 sujets masculins) ont été sélectionnés pour participer à cette étude. Ces sujets étaient en bonne condition physique et en bonne santé. Ils possédaient tous le permis de conduire depuis plus de deux ans et effectuaient au moins 5000 km par an, en conduite de jour comme de nuit.

Les sujets ont été informés des conditions dans lesquelles auraient lieu les séances expérimentales. Ils ont tous signé un consentement éclairé, conformément à la loi sur la recherche biomédicale sans bénéfice individuel direct et il leur a été versée une indemnité à la fin de leur participation à l'étude.

Préalablement à sa participation à l'expérimentation, chaque sujet a subi une visite de présélection comportant un examen médical et un essai de conduite du simulateur PAVCAS. L'examen médical comportait un interrogatoire (antécédents médicaux, état de santé actuel, notamment les prises de médicaments le cas échéant, hygiène de vie...), un examen médical des grandes fonctions et un examen de la vision (lecture à distance et champ visuel).

Les sujets effectuaient également un essai de conduite sur le simulateur. Cet essai permettait à la fois de familiariser les sujets à la conduite du simulateur et de dépister ceux susceptibles de souffrir du mal des simulateurs.

2.2. LE PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le protocole expérimental comprend deux séances de conduite du simulateur [Passation 1 (P1) et Passation 2 (P2)], séparées de 8 jours au moins et de 2 semaines au plus. Au cours de ces deux passations, les sujets étaient exposés à deux conditions précises. Lors de l'après midi précédant l'une des deux sessions de conduite, les sujets arrivaient au laboratoire à 14h et ils étaient invités à pratiquer une sieste dans une période comprise entre 15h et 17h. Pour ce faire, le sujet était confortablement installé dans l'une des chambres expérimentales du laboratoire où les conditions ambiantes étaient maintenues constantes (température de confort, silence, obscurité). A l'issue de cette sieste, le sujet était invité à rester au laboratoire jusqu'à l'épreuve de conduite effectuée en fin de soirée. Il lui était servi un repas entre 19h et 20h.

Au cours de l'autre passation, le sujet était invité à ne pas pratiquer de sieste au cours de l'après midi, ni en début de soirée. L'arrivée de ce dernier au laboratoire se faisait environ deux heures avant l'épreuve de conduite proprement dite, soit vers 20h. L'ordre dans lequel les passations étaient effectuées était contre-balancé, c'est à dire que la moitié des sujets pratiquait la sieste lors de la première passation tandis que l'autre moitié la pratiquait au cours de la deuxième passation. Les sujets étaient répartis de façon aléatoire en ce qui concerne l'ordre des deux passations.

Lors des deux passations, la pose des électrodes avait lieu vers 21h30 puis le sujet était installé dans le simulateur PAVCAS et la séance de conduite commençait vers 22h. Avant le début de la conduite, les consignes étaient lues aux sujets. Au début de chaque passation, avant le début de la conduite, le sujet était enregistré au volant du véhicule pendant 5 minutes " yeux ouverts " puis pendant 5 minutes " yeux fermés ".

A la fin de l'épreuve de conduite, qui se situait entre 1h et 1h30 du matin, il était pratiqué de même, puis la lumière de la pièce était allumée pour permettre au sujet de répondre au questionnaire. Les expérimentateurs n'entraient dans la pièce où se trouve le simulateur que lorsque le sujet avait fini de compléter le questionnaire.

Il était ensuite procédé à la dépose des électrodes, puis le sujet se changeait et il était ensuite invité à dormir dans l'une des chambres d'accueil du laboratoire, étant donnée l'heure avancée de la nuit où se terminait l'expérimentation.

2.3. LES MOYENS TECHNIQUES

2.3.1. LE DISPOSITIF PAVCAS

L'étude a été réalisée sur le dispositif PAVCAS (Poste d'Analyse de la Vigilance en Conduite Automobile Simulée). Ce dispositif expérimental comprend d'une part le simulateur de conduite et d'autre part les moyens d'acquisition. Il permet l'enregistrement permanent des performances de conduite, de l'évolution temporelle de grandeurs physiologiques et du comportement du conducteur.

Le simulateur se présente sous la forme d'une plate-forme mobile à 4+2 degrés de liberté (mouvements : longitudinal, vertical, roulis et tangage de l'habitacle ainsi que roulis et tangage du fauteuil) associée à une visualisation interactive temps réel (voir photo 1).



Photo1 : le dispositif PAVCAS

L'unité de visualisation reproduit un parcours autoroutier sous forme d'images de synthèse simulant des conditions de conduite diurne ou nocturne avec et sans éclairage de l'autoroute. A l'intérieur du simulateur, les ambiances thermique, hygrométrique (point de rosée), acoustique et lumineuse sont contrôlées. L'ensemble du simulateur comprend un PC et une station graphique (Onyx de Silicon Graphics). Le PC est affecté à la gestion de la plate-forme mobile et au calcul du comportement du véhicule en fonction des actions du conducteur sur les commandes du véhicule. La station graphique effectue le calcul des images (fréquence : 30 images/seconde).

Les moyens d'enregistrement comprennent un système d'acquisition numérique des grandeurs électrophysiologiques (électroencéphalogramme, électrooculogramme, électrocardiogramme, réponses électrodermales) et un système d'acquisition d'images vidéo pour l'étude comportementale du conducteur (face, profil, images de la route) (voir photo 2).



Photo 2 : moyens d'enregistrement du dispositif PAVCAS

2.3.2. LE CIRCUIT

Le circuit représente un trajet autoroutier de 50 kilomètres qui comporte des portions de route droite, quatorze courbes à droite et sept courbes à gauche dont les rayons varient entre 500 et 3500 mètres. Le circuit comporte, outre les équipements nécessaires à la conduite (panneaux, signalisation horizontale), de nombreux autres éléments (parkings, ponts, téléphones de secours) qui enrichissent le décor et améliorent la qualité de la simulation.

L'ensemble du circuit (signalisations verticales et horizontales) respecte les normes autoroutières actuellement en vigueur sur le territoire français, hormis deux zones de courbes en S. La structure détaillée du circuit a été présentée dans le rapport intermédiaire n°2 de la même convention et, par souci de simplification, elle ne sera pas re présentée ici.

Dans le cadre de cette expérimentation, le parcours est effectué en condition nocturne sans éclairage autoroutier.

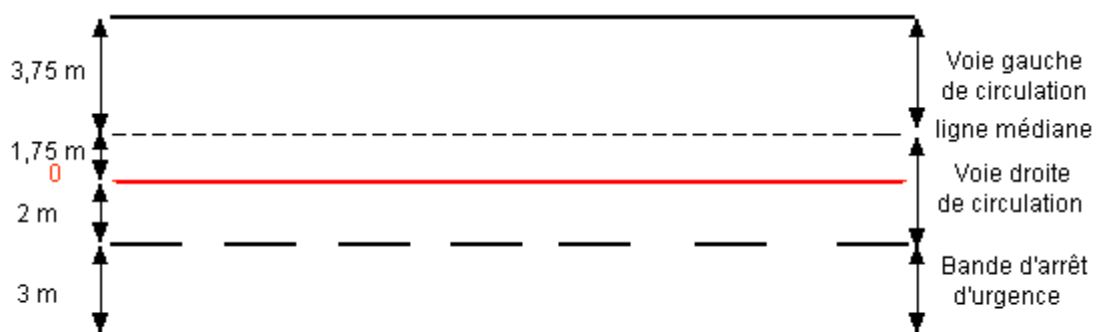
2.3.3. LES MESURES EFFECTUEES

2.3.3.1. Les performances de conduite :

Les mesures effectuées ont été analysées globalement sur l'ensemble du circuit puis tour après tour.

Les performances de conduite sont enregistrées à la fréquence de 30 mesures par seconde. Les indices décrits ci-dessous ont été obtenus par l'analyse de la position absolue et de la vitesse du véhicule et ils ont été calculés, d'une part sur l'ensemble du circuit et d'autre part pour chaque tour de circuit.

- Vitesse moyenne ;
- Ecart type de la vitesse moyenne ;
- Vitesse maximale ;
- Vitesse minimale ;
- Position latérale (figure 1) ;



0 = position du conducteur lorsque le véhicule se trouve au milieu de la voie de droite

Figure 1 : Schéma de la position latérale idéale du véhicule sur la route.

- Ecart type de la position latérale ;
- Sorties de route.

2.3.3.2. Les mesures subjectives

Avant et après chaque séquence de conduite, on demande, par interphone, aux sujets de remplir les questionnaires qui ont été placés sur le siège passager. Ces questionnaires sont classés dans l'ordre dans lequel ils doivent être remplis au cours de l'expérience.

2.3.3.3. Les mesures physiologiques

Les mesures physiologiques comprennent :

- 4 électrodes d'encéphalographie placées sur l'hémisphère gauche (occipitale, pariétale, centrale et frontale) ;
- 4 électrodes d'électrooculographie, pour l'enregistrement des mouvements oculaires horizontaux et verticaux ;
- 2 électrodes cardiaques (dérivation thoracique précordiale) ;
- 1 électrode de référence au niveau de la mastoïde droite ;
- 1 électrode de masse sur le front.

2.3.4. LES ANALYSES STATISTIQUES EFFECTUEES

Une analyse de la variance a été effectuée sur chaque mesure réalisée afin d'évaluer l'effet des différentes variables : le sexe, la condition (avec ou sans sieste), l'ordre de passage (avec puis sans sieste ou sans puis avec sieste) et le tour de circuit (du tour 1 au tour 7).

Les moyennes obtenues ont été comparées à l'aide du test de Newman-Keuls ou du LSD de Fisher.

Les analyses non paramétriques utilisées sont mentionnées dans le texte lui-même.

3. RESULTATS

3.1. RESULTATS CONCERNANT LA PRATIQUE DE LA SIESTE PREALABLE

Rappel : Lors de l'après midi précédant l'une des deux sessions de conduite, les sujets étaient invités à pratiquer une sieste dans la période comprise entre 15h et 17h. Pour ce faire, le sujet était confortablement installé dans l'une des chambres expérimentales du laboratoire où les conditions ambiantes étaient maintenues constantes (température de confort, silence, obscurité). A l'issue de cette sieste, le sujet était invité à rester au laboratoire jusqu'à l'épreuve de conduite effectuée en soirée. Au cours de l'autre passation, le sujet était invité à ne pas pratiquer de sieste au cours de l'après midi ni en début de soirée. L'arrivée de ce dernier au laboratoire se faisait environ deux heures avant l'épreuve de conduite proprement dite. L'ordre dans lequel les passations étaient effectuées était contre-balancé, c'est à dire que la moitié des sujets pratiquait la sieste lors de la première passation tandis que l'autre moitié la pratiquait au cours de la deuxième passation.

L'application du questionnaire ayant été faite à l'issue de l'expérimentation, seuls treize sujets sur les seize ayant participé à celle-ci ont correctement rempli ce dernier. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant (tableau I).

Sujets	Sexe	Ordre/passation	Dormi ?	Combien de temps ?	Comment ?
01	féminin	avec / sans	oui	30 mn	mal
03	féminin	avec / sans	oui	120 mn	bien
04	féminin	avec / sans	oui	20 mn	mal
05	féminin	avec / sans	oui	40 mn	bien
06	féminin	sans / avec	oui	60 mn	bien
07	féminin	sans / avec	non	-	-
09	masculin	avec / sans	oui	30 mn	mal
10	masculin	avec / sans	oui	90 mn	mal
11	masculin	avec / sans	oui	120 mn	bien
12	masculin	avec / sans	oui	90 mn	bien
13	masculin	sans / avec	oui	120 mn	bien
16	masculin	sans / avec	oui	120 mn	bien
17	féminin	avec / sans	oui	25 mn	mal

Tableau I : caractéristiques de la sieste pratiquée au cours de l'après midi précédant l'une des deux épreuves de conduite nocturne.

Les résultats consignés dans ce tableau indiquent que la majorité des sujets ont dormi pendant la sieste (12/13). La durée de celle-ci est très variable d'un sujet à l'autre (valeurs extrêmes comprises entre 20 et 120 minutes). La qualité de la sieste est jugée bonne dans 7 cas sur 12. La durée moyenne de la sieste est sensiblement plus longue chez les sujets masculins (95 mn) que chez les sujets féminins (49 mn).

3.2. RESULTATS CONCERNANT LES PERFORMANCES DE CONDUITE

3.2.1. ANALYSE SUR L'ENSEMBLE DE L'EPREUVE DE CONDUITE

3.2.1.1. Vitesse moyenne

A. Définition

La vitesse des conducteurs a été moyennée sur l'ensemble de la conduite sauf pour les zones d'arrêt intermédiaire, incluant la période de ralentissement précédant l'arrêt, la période d'arrêt et la période de retour à la circulation.

B. Résultats

Les variables Condition (avec ou sans sommeil) et Ordre de passage seuls (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) ne présentent aucun effet significatif sur la vitesse moyenne.

a. Effets significatifs

En revanche, l'analyse de variance révèle un effet significatif du facteur Condition (avec ou sans sommeil) en fonction du facteur Ordre de passage (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) sur la vitesse moyenne ($F(1,11)=15,16$; $p<0,0026$; cf. fig. 2). Les sujets débutant par la condition avec sommeil affichent lors de cette passation une vitesse moyenne inférieure à celle observée lors de la condition sans sommeil. Inversement, les sujets débutant par la condition sans sommeil présentent lors de cette passation une vitesse moyenne inférieure à celle observée lors de la condition avec sommeil. Ainsi, tous sujets confondus, la 2nd passation affiche une vitesse moyenne plus élevée que celle obtenue lors de la 1^{ère} passation. Pour une même passation (1^{ère} ou 2nd passation), aucune différence significative n'est constatée entre la condition avec sommeil et la condition sans sommeil.

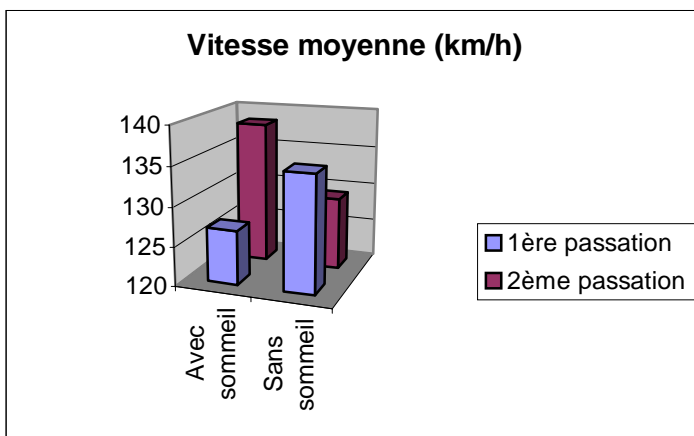


Fig. 2 : Influence de la sieste en 1^{ère} ou 2^{ème} passation sur la vitesse moyenne exprimée en km/h

b. Tendances

Par ailleurs, le facteur sexe tend à présenter un effet significatif sur la vitesse moyenne ($F(1,11)=4,07$; $p<0,069$; cf. fig. 3). Les hommes ont tendance à rouler plus vite que les femmes.

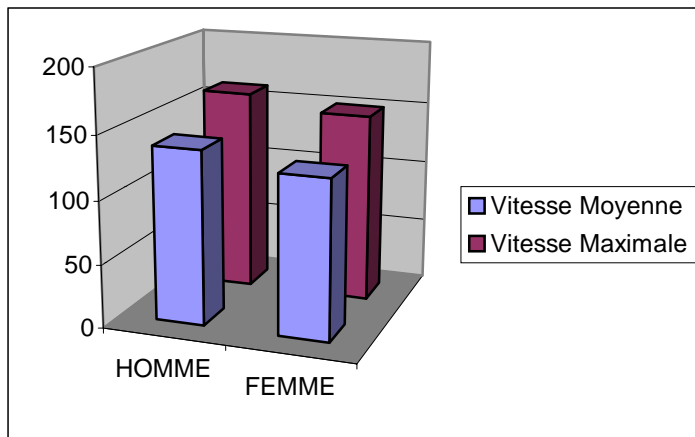


Fig. 3 : Vitesses maximale et moyenne exprimées en km/h en fonction du sexe

3.2.1.2. Ecart type de la vitesse

Aucun effet significatif des différentes variables étudiées (Condition, Ordre de passage, Sexe), ni aucune tendance n'ont été constatés sur la variabilité de la vitesse autour de la moyenne.

3.2.1.3. Vitesse maximale

A. Effets significatifs

Comme pour la vitesse moyenne, le maximum de vitesse diffère significativement en fonction de la condition (avec ou sans sommeil) et l'ordre de passage (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) ($F(1,11)=8,058$; $p<0,017$; cf. fig. 4). Les sujets débutant par la condition avec sommeil affichent lors de cette passation une vitesse maximale inférieure à celle observée lors de la condition sans sommeil. Inversement, les sujets débutant par la condition sans sommeil présentent lors de cette passation une vitesse maximale inférieure à celle observée lors de la condition avec sommeil. Ainsi, tous sujets confondus, la 2nd passation affiche une vitesse maximale plus élevée que celui obtenu lors de la 1^{ère} passation. Pour une même passation (1^{ère} ou 2nd passation), aucune différence significative n'est constatée entre la passation avec sommeil et la passation sans sommeil.

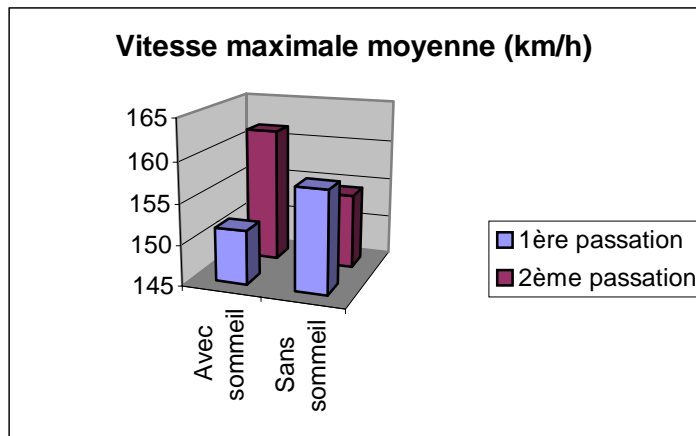


Fig. 4 : Influence de la sieste en 1^{ère} ou 2^{ème} passation sur la vitesse maximale exprimée en km/h

B Tendances

Le facteur sexe tend également à présenter un effet significatif sur la vitesse maximale ($F(1,11)=4,493$; $p<0,058$; cf. fig. 3). Les hommes tendent à afficher une vitesse maximale plus élevée que les femmes.

3.2.1.4. Vitesse minimale

Seule l'interaction des variables Condition x Ordre de passage tend à présenter un effet significatif sur le minimum de vitesse ($F(1,11)=3,959$; $p<0,073$; cf. fig. 5). Les sujets débutant par la condition avec sommeil tendent à afficher lors de cette passation une vitesse minimale inférieure à celle observée lors de la condition sans sommeil. Inversement, les sujets débutant par la condition sans sommeil tendent à présenter lors de cette passation une vitesse minimale inférieure à celle observée lors de la condition avec sommeil. Ainsi, tous sujets confondus, la 2nd passation tend à afficher une vitesse minimale plus élevée que celle obtenue lors de la 1^{ère} passation. Pour une même passation (1^{ère} ou 2nd passation), des différences tendent à apparaître entre la condition avec sommeil et la condition sans sommeil. Les sujets débutant par la condition avec sommeil tendent à afficher une vitesse minimale inférieure à celle observée chez les sujets débutant par la condition sans sommeil. Inversement, les sujets terminant par la condition avec sommeil tendent à présenter une vitesse minimale plus élevée que celle observée chez les sujets terminant par la condition sans sommeil. Par ailleurs, la vitesse minimale lors de la condition avec sommeil en 2nd passage est plus élevée que celle observée lors de cette même condition en 1^{er} passage.

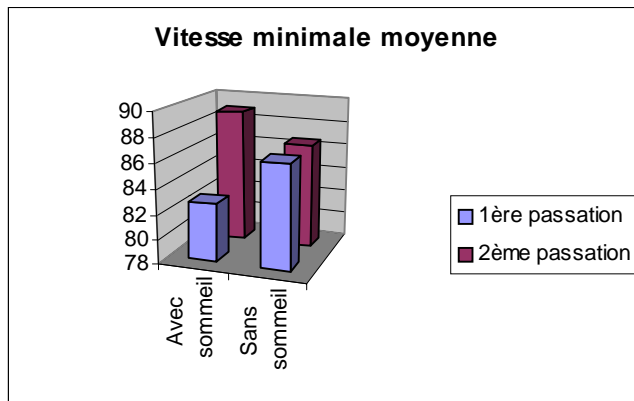


Fig. 5 : Influence de la sieste en 1^{ère} ou 2^{ème} passation sur la vitesse minimale exprimée en km/h

3.2.1.5. Position latérale moyenne

Aucun effet significatif sur la position latérale moyenne des différents facteurs étudiés (Sexe, Condition, Ordre de passage) n'a été constaté.

3.2.1.6. Ecart type de la position latérale

De même, aucun effet significatif des différents variables étudiés (Condition, Ordre de passage, Sexe), ni aucune tendance n'ont été constatés sur la variabilité de la position latérale moyenne.

3.2.1.7. Sorties de route

Les sorties de route ont été considérées comme étant le franchissement au delà de 0,5m de la bande blanche continue limitant la bande d'arrêt d'urgence ou de celle limitant le bord gauche de la voie de dépassement (avant la barrière de sécurité).

3.2.1.7.1. Nombre de sorties de route du côté droit (seuil de 0,5 m)

Le nombre de sorties de route du côté droit n'affiche aucune différence significative en fonction du sexe, de la condition et de l'ordre de passage.

3.2.1.7.2. Nombre de sorties de route côté gauche (seuil de 0,5 m)

Le nombre de sorties de route du côté gauche affiche le même résultat que celui obtenu pour les sorties de route du côté droit.

3.2.1.7.3. Pourcentage de temps de sortie du côté droit (seuil de 0,5 m)

De même, aucun effet significatif des différentes variables étudiées (Sexe, Condition, Ordre de passage) n'a été constaté sur le pourcentage de temps de sortie de route du côté droit.

3.2.1.7.4. Pourcentage de temps de sortie du côté gauche (seuil de 0,5 m)

De façon similaire, le sexe, la condition et l'ordre de passage n'influencent aucunement le pourcentage de temps de sortie de route du côté gauche.

3.2.1.7.5. Nombre de franchissements du rail droit

Le nombre de franchissements du rail droit n'affiche également aucune différence significative ou à tendance significative entre les deux sexes, les deux conditions et les deux ordres de passages.

3.2.1.7.6. Nombre de franchissements du rail gauche

De façon similaire, aucune variation significative ou à tendance significative du nombre de franchissement du rail gauche n'a été constatée en fonction du facteur sexe, de la condition et de l'ordre de passage.

3.2.2. ANALYSE PAR TOURS DE CIRCUIT

3.2.2.1. Vitesse moyenne

A. Effets significatifs

Comme dans l'analyse globale, l'interaction des variables Condition (avec ou sans sommeil) et Ordre de passage (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) a un effet significatif sur la vitesse moyenne ($F(1,11)=15,16$; $p<0,0026$; cf. fig. 2). Les résultats obtenus sur l'ensemble des tours sont donc cohérents avec ceux obtenus dans l'analyse globale.

L'analyse de variance révèle un effet significatif de la variable Tour de circuit ($F(6,66)=4,81$; $p<0,0004$; cf. fig. 6). Dès le 2^{ème} tour de circuit, une augmentation significative de la vitesse moyenne est constatée (T1-T2 : $p<0,0065$; T1-T3 : $p<0,008$; T1-T4 : $p<0,0013$; T1-T5 : $p<0,0012$; T1-T6 : $p<0,00022$; T1-T7 : $p<0,00095$).

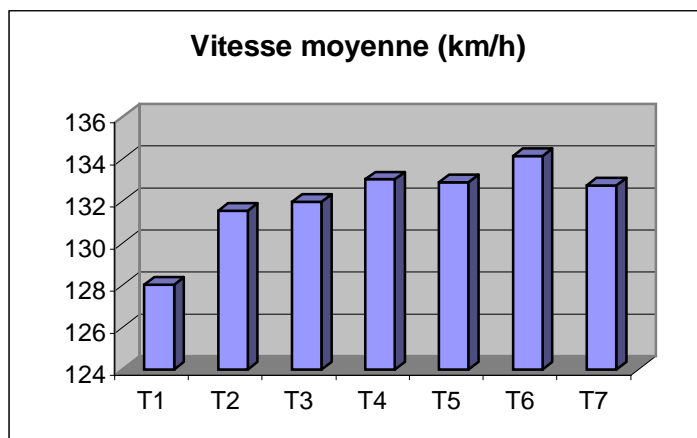


Fig. 6 : Evolution de la vitesse moyenne en fonction des tours de circuit

B. Tendances

Comme dans l'analyse globale, le sexe tend à présenter un effet significatif sur la vitesse moyenne ($F(1,11)=4,07$; $p<0,069$; cf. fig.3). Les hommes tendent à rouler plus vite que les femmes.

3.2.2.2. Ecart type de la vitesse

A. Effets significatifs

L'analyse statistique révèle également un effet très significatif du facteur Tour de circuit sur l'écart type de la vitesse ($F(6,66)=32,57$; $p<0,0000001$; cf. fig. 7). Une diminution significative est observée au 2^{ème} tour de circuit (T1-T2 : $p<0,027$) puis une augmentation significative apparaît dès le 5^{ème} tour, se prolongeant jusqu'au dernier tour (T4-T5 : $p<0,00065$; T5-T6 : $p<0,0046$; T6-T7 : $p<0,00017$; T1-T4 : $p<0,01$; T1-T6 : $p<0,0005$; T1-T7 : $p<0,00015$).

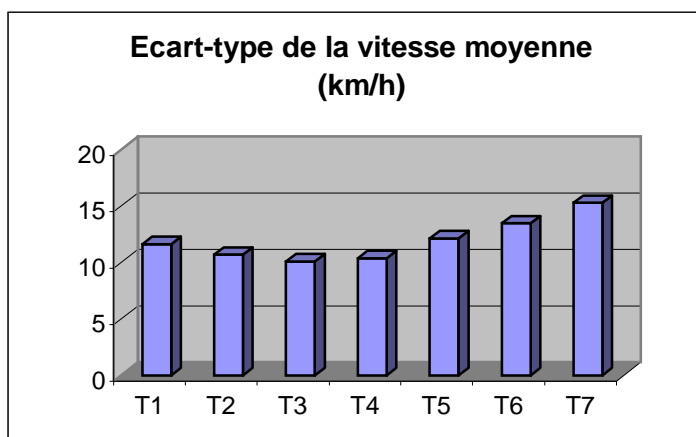


Fig. 7 : Evolution de la variabilité de la vitesse moyenne en fonction des tours de circuit

3.2.2.3. Vitesse maximale

A. Effets significatifs

Comme dans l'analyse globale, le maximum de vitesse diffère significativement en fonction de la condition (avec ou sans sommeil) et de l'ordre de passage considérés (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) ($F(1,11)=8,058$; $p<0,017$; cf. fig. 4).

L'analyse statistique portant sur la vitesse maximale atteint montre, comme pour la vitesse moyenne, un effet très significatif de la durée de la tâche ($F(6,66)=15,91$; $p<0,0000001$; cf. fig. 8). Ceci se traduit par une augmentation significative au 5^{ème} tour de conduite (T4-T5 : $p<0,027$; T5-T6 : $p<0,035$) qui tend vers un palier au 7^{ème} tour.

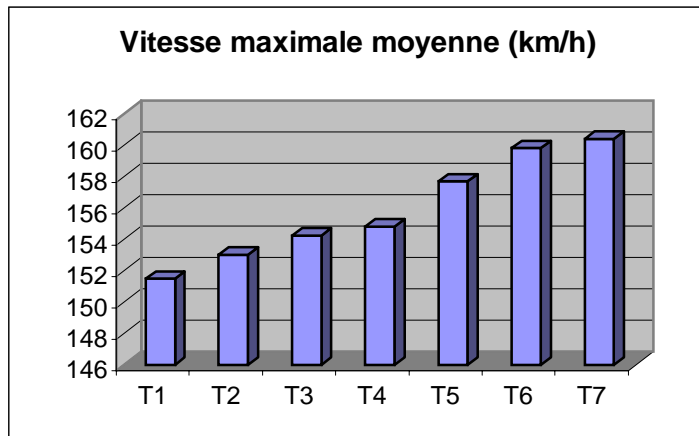


Fig. 8 : Evolution de la vitesse maximale en fonction des tours de circuit

B. Tendances

Comme dans l'analyse globale, la vitesse maximale tend à être plus élevée chez les hommes comparativement aux femmes ($F(1,11)=4,493$; $p<0,058$; cf. fig. 3).

Suivant le tour de circuit, des différences tendent également à apparaître entre les 2 sexes ($F(6,66)=2,13$; $p<0,063$; cf. fig. 9). Quel que soit le tour de circuit considéré, les hommes affichent une vitesse maximale plus élevée que les femmes. Une augmentation progressive de la vitesse maximale au fil des tours est observée surtout chez les hommes.

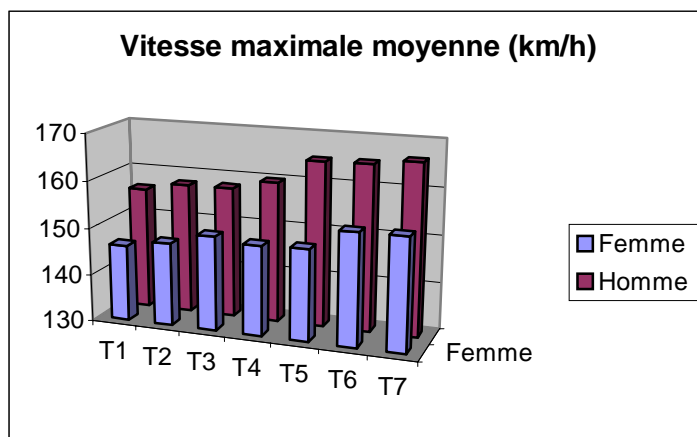


Fig. 9: Evolution comparée en fonction des tours de la vitesse maximale entre les hommes et les femmes

Par ailleurs, l'analyse statistique révèle également un effet à tendance significative de l'interaction des facteurs Tour et Ordre de passage ($F(6,66)=1,98$; $p<0,083$; cf. fig. 10).

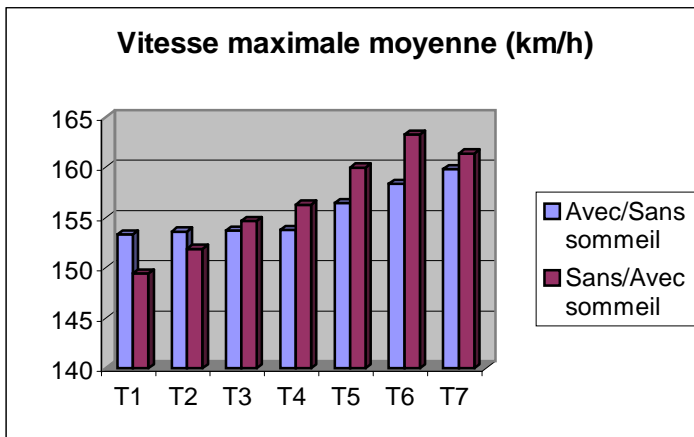


Fig. 10: Influence de la durée de la tâche et de l'ordre de passage sur la vitesse maximale

3.2.2.4. Vitesse minimale

A. Effets significatifs

Comme pour la vitesse moyenne et maximale, une influence significative du facteur Tour de circuit sur la vitesse minimale apparaît ($F(6,66)=30,58$; $p<0,0000001$; cf. fig. 11). La vitesse minimale moyenne augmente significativement au cours des 3 premiers tours (T1-T3 : $p<0,014$; T1-T4 : $p<0,011$) puis diminue au cours des 3 derniers tours ; cette diminution est significative au 7^{ème} tour (T6-T7 : $p<0,00012$; T1-T7 : $p<0,00012$; T2-T7 : $p<0,00013$; T3-T7 : $p<0,00013$; T4-T7 : $p<0,00016$; T2-T6 : $p<0,031$; T3-T6 : $p<0,0028$; T4-T6 : $p<0,0019$).

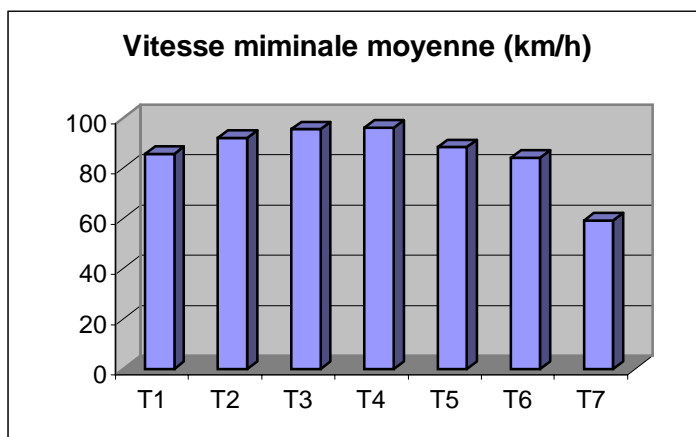


Fig. 11 : Evolution de la vitesse minimale en fonction des tours de circuit

B. Tendances

Comme dans l'analyse globale, l'interaction des facteurs Condition x Ordre de passage tend à présenter un effet significatif sur la vitesse minimale ($F(1,11)=3,959$; $p<0,073$; cf. fig. 5).

3.2.2.5. Evolutions comparées des vitesses moyenne, minimale et maximale au fil des tours de circuit

Au cours des 3 premiers tours de circuit, une augmentation des vitesses moyenne, minimale et maximale est constatée. En revanche, au cours des 3 derniers tours, la vitesse minimale diminue. Les vitesses moyenne et maximale, quant à elles, augmentent et tendent vers un palier (voir figure 12).

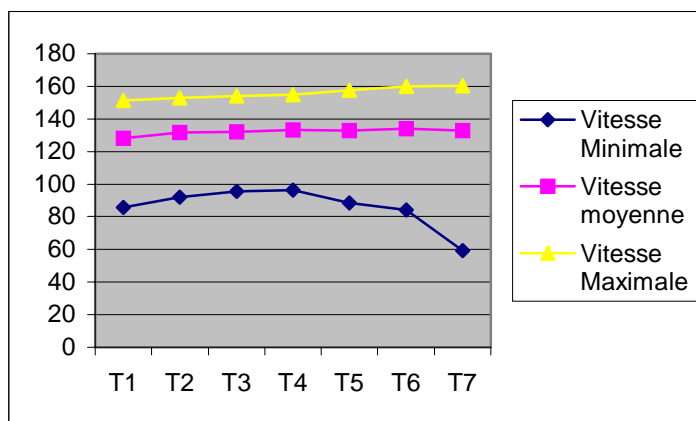


Fig. 12 : Evolution des vitesses moyenne, minimale et maximale au fil des tours de circuit

3.2.2.6. Position latérale moyenne

Aucune variation significative ou à tendance significative de la position latérale moyenne n'a été constatée avec les tours de circuit.

3.2.2.7. Ecart type de la position latérale

De façon similaire, la durée de la tâche (tours de circuit) n'influence aucunement la variabilité de la position latérale moyenne.

3.2.2.8. Sorties de route

3.2.2.8.1. Nombre de sorties de route du côté droit (seuil 0,5 m)

En revanche, il existe un effet significatif du Tour de circuit sur le nombre de sorties de route du côté droit ($F(6,66)=2,89$; $p<0,015$; fig. 13). Les sorties de route du côté droit augmentent progressivement et significativement au cours des quatre 1er tours de conduite (T1-T4 : $p<0,031$; T1-T5 : $p<0,0335$

; T1-T6 : $p < 0,0111$; T1-T7 : $p < 0,032$). Puis cette augmentation tend vers un palier aux tours suivants.

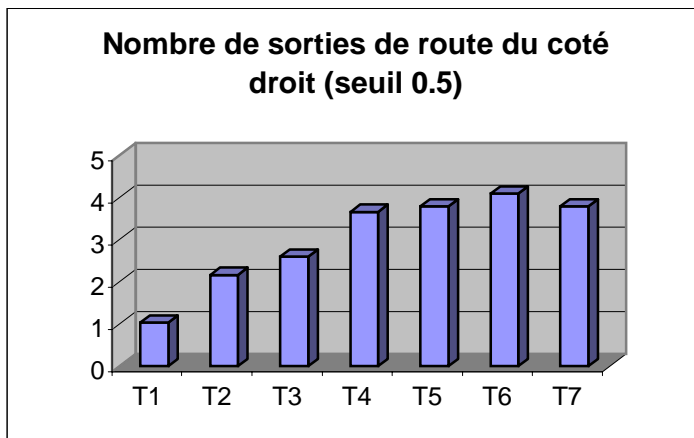


Fig. 13 : Evolution du nombre de sorties de route du côté droit en fonction des tours de circuit

3.2.2.8.2. Nombre de sorties de route du côté gauche (seuil 0,5 m)

Le nombre de sorties de route du côté gauche n'affiche, quant à lui, aucune variation significative ou à tendance significative en fonction du tour de circuit.

3.2.2.8.3. Pourcentage de temps de sortie de route du côté droit (seuil de 0,5 m)

De même, aucun effet significatif ou à tendance significative de la durée de la tâche (tours de circuit) n'a été constaté sur le pourcentage de temps de sortie de route du côté droit.

3.2.2.8.4. Pourcentage de temps de sortie de route du côté gauche (seuil de 0,5 m)

De façon similaire, la durée de la tâche (tours de circuit) n'influence aucunement le pourcentage de temps de sortie de route du côté gauche.

3.2.2.8.5. Nombre de franchissements du rail droit

Le nombre de franchissement du rail droit n'affichent également aucune différence significative ou tendance significative entre les différents tours de circuit.

3.2.2.8.6. Nombre de franchissements du rail gauche

De façon similaire, aucune évolution significative ou à tendance significative du nombre de franchissement du rail gauche n'a été constatée au

fil des tours de conduite.

3.3. EVALUATIONS SUBJECTIVES AVANT ET APRES LA CONDUITE

3.3.1. EVALUATION DU NIVEAU DE FATIGUE :

Le niveau est comparé au niveau de fatigue habituel à ce moment précis de la journée (échelle en 9 points allant de « pas fatigué » = 0 à « extrêmement fatigué » = 8) (tests statistiques : Wilcoxon et Mann-Whitney). Dans les analyses suivantes, la variable « conduite » a été ajoutée (deux modalités « avant » et « après » la conduite).

Les facteurs Sexe, Condition (Avec ou Sans sommeil) et Ordre de passage (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) seuls ne présentent aucun effet significatif sur l'évaluation subjective par les sujets de leur niveau de fatigue.

En revanche, l'analyse statistique révèle un effet significatif de la conduite ($z = 3,011$; $p < 0,0027$; cf. fig.14). Les sujets s'estiment plus fatigués après la conduite (moy. 5,5/10) qu'avant celle-ci (moy. 3,94/10) et ce quelle que soit la condition. Avant la conduite, les sujets se disent à un niveau de fatigue habituel à ce moment de la journée.

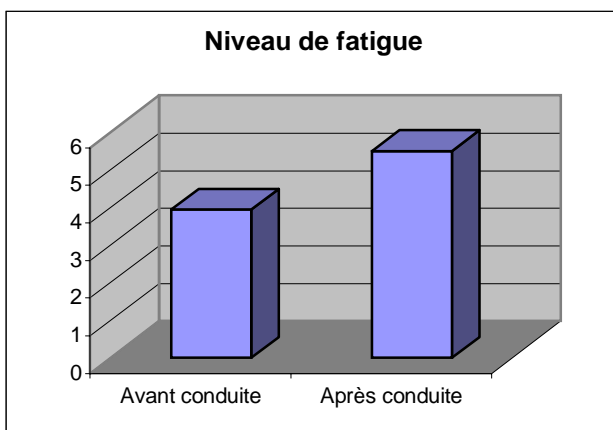


Fig. 14: Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur niveau de fatigue

3.3.2. EVALUATION DU NIVEAU DE SOMNOLENCE :

par une échelle en 9 points allant de « très éveillé » = 0 à « très somnolent avec de grands efforts pour rester éveillé, luttant contre le sommeil » = 8.

Le facteur Ordre de passage (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) n'affiche aucun effet significatif sur l'évaluation subjective par les sujets de leur niveau de somnolence.

En revanche, l'estimation du niveau de somnolence diffère significativement selon le sexe des sujets ($z = -2,13$; $p < 0,034$; cf. fig. 15). Les femmes se perçoivent plus somnolentes (moy. 5,04/10) que les hommes (moy. 4,22/10). Les femmes se disent « ni éveillées, ni somnolentes », les hommes, quant à eux, s'estiment dans un état intermédiaire entre « Eveillé - niveau normal » et « Ni éveillé, ni somnolent ».

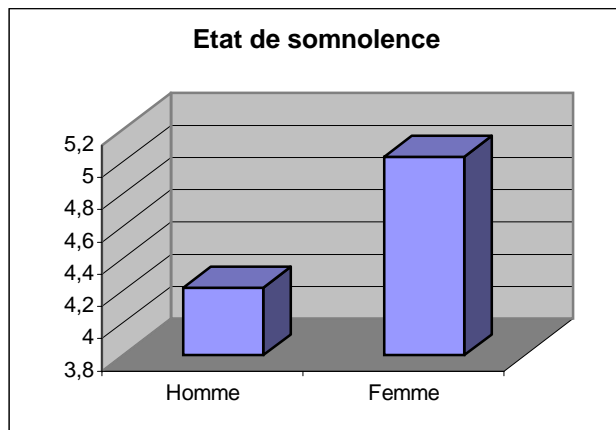


Fig. 15 : Influence du sexe sur l'estimation des sujets de leur état de somnolence

Cependant, cette différence d'estimation entre les 2 sexes tend à varier en fonction du moment de cette évaluation ($z = -1,87$; $p < 0,062$; cf. fig. 16). En effet, les femmes se disent significativement plus somnolentes (moy. 7/10) que les hommes (moy. 5,94/10) uniquement après la conduite.

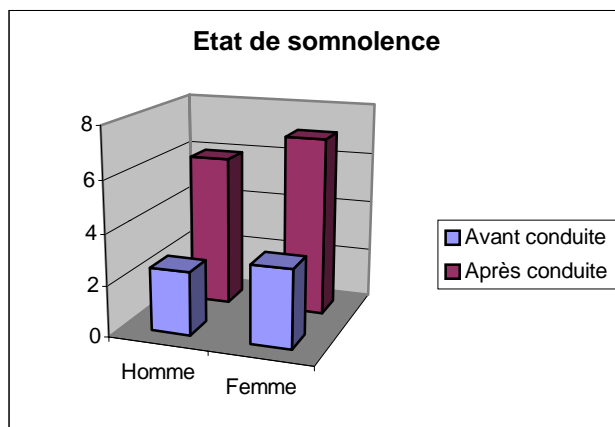


Fig. 16: Evaluation subjective des sujets de leur état de somnolence avant et après la conduite en fonction de leur sexe

Par ailleurs, l'analyse statistique révèle également un effet significatif de la conduite sur le niveau de vigilance ($z = 3,52$; $p < 0,00044$; cf. fig. 17). Les sujets s'estiment plus somnolents après la conduite (moy. 6,47/10) qu'avant celle-ci (moy. 2,79/10) et ce quelle que soit la condition considérée.

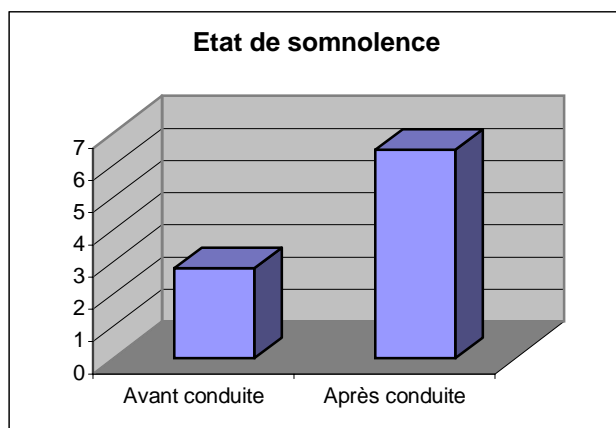


Fig. 17 : Influence de la conduite sur l'estimation des sujets de leur état de somnolence

Le niveau de somnolence tend également à varier significativement en fonction de la condition ($z = 1,852$; $p < 0,0641$; cf. fig. 18). Les sujets se disent plus somnolents lors de la condition sans sieste préalable (moy. 4,91/10) que lors de la condition avec sieste (moy. 4,34/10).

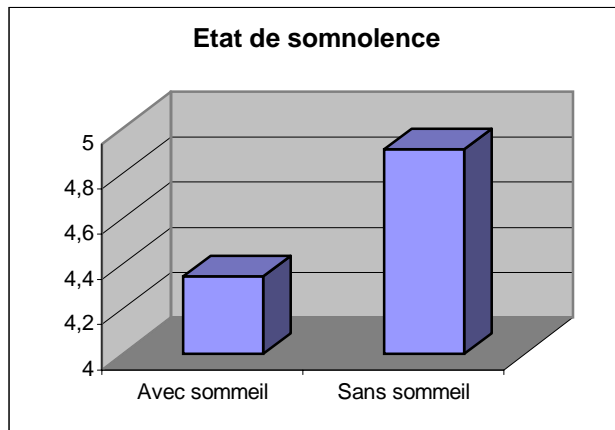


Fig. 18 : Influence d'une sieste préalable sur l'évaluation des sujets de leur état de somnolence

3.3.3. EVALUATION DE L'ETAT EMOTIONNEL ET ATTENTIONNEL

Evaluation réalisée avec sept échelles analogiques de 10 cm allant de « pas du tout » = 0 à « très » = 10 pour les adjectifs suivants : alerte, abattu, tendu, heureux, calme, capable de me concentrer, de bonne humeur.

Les facteurs Sexe, Condition (Avec ou Sans sommeil) et Ordre de passation (Avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil) seuls ne présentent aucun effet significatif sur l'état émotionnel et attentionnel du sujet pour l'ensemble des adjectifs cités précédemment.

3.3.3.1. Evaluation de l'état « alerte »

L'analyse statistique révèle une variation significative de l'état « alerte » du sujet entre le moment précédant la conduite et le moment succédant à la conduite ($F(1,12)=21,07$; $p < 0,00063$; cf. fig. 19). Les sujets se disent plus alertes avant la conduite qu'après et ce, quels que soient le sexe et la condition.

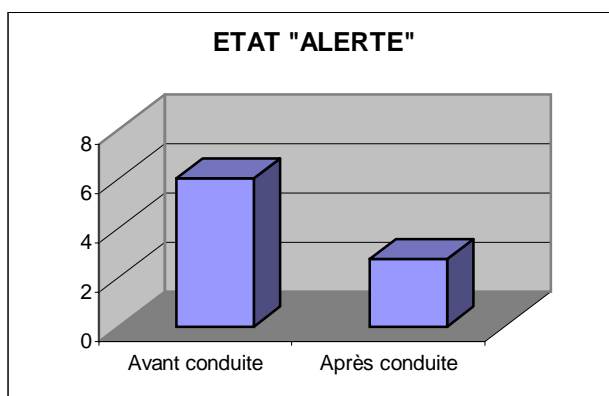


Fig. 19 : Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur état « alerte »

3.3.3.2. Evaluation des capacités de concentration

A. Effets significatifs

La conduite présente également un effet très significatif sur les capacités de concentration des sujets. En effet, ces derniers se disent plus aptes à se concentrer avant la conduite qu'après celle-ci ($F(1,12)=142,43$; $p<0,00001$; cf. fig.20).

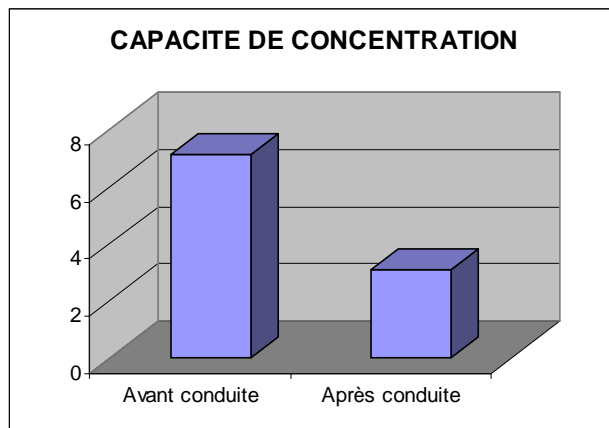


Fig.20 : Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur capacité de concentration

B. Tendances

Par ailleurs, cette capacité de concentration tend également à varier en fonction du sexe, de la condition (avec ou sans sommeil) et de l'ordre de passage ($F(1,12)=4,32$; $p<0,0599$; cf. fig. 21). Chez les sujets débutant par la condition avec sommeil, les hommes s'estiment, avant la conduite, plus aptes à se concentrer que les femmes. Cette constatation est inversée après la conduite. Chez les sujets débutant par la condition sans sommeil, aucune différence entre les deux sexes n'est, en revanche, constatée avant la conduite. Après la conduite, les hommes tendent à être plus aptes à se concentrer que les femmes.

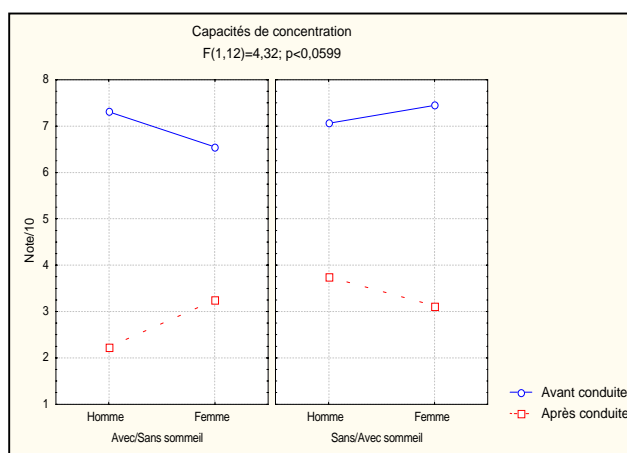


Fig. 21 : Evaluation subjective des sujets de leur capacité de concentration avant et après la conduite en fonction de leur sexe et de l'ordre de passage des 2 passations

3.3.3.3. Evaluation de l'état émotionnel : adjectif concerné « abattu »

A. Effets significatifs

De façon similaire, l'état émotionnel du sujet caractérisé par l'adjectif « abattu » diffère significativement entre les deux moments de l'évaluation subjective (avant et après la conduite) ($F(1,12)=16,37$; $p<0,00163$; cf. fig. 22). Les sujets se disent plus abattus après la conduite qu'avant et ce quels que soient le sexe et la

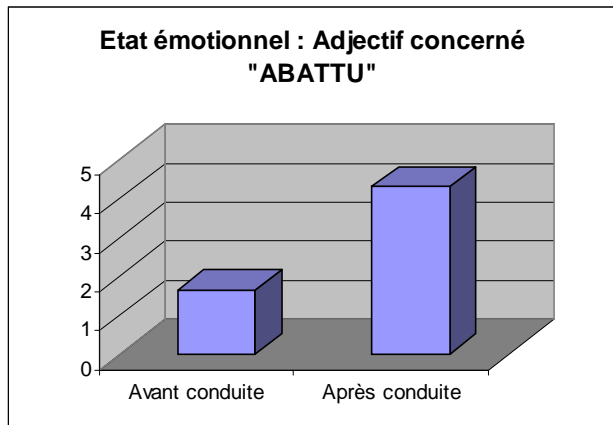


Fig. 22 : Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur état émotionnel : caractérisé par l'adjectif « ABBATU »

condition.

B. Tendances

Par ailleurs, l'interaction des facteurs Condition x Ordre de passage x Moment d'évaluation subjective tend également à présenter un effet significatif sur l'état émotionnel du sujet caractérisé par l'adjectif « abattu » ($F(1,12)=3,667$; $p<0,08$; cf. fig. 23). Avant la conduite, les sujets débutant par la condition avec sommeil s'estiment moins abattus que lors de la condition sans sommeil. Inversement, les sujets débutant par la condition sans sommeil se disent moins abattus que lors de la condition avec sommeil. Ainsi, quel que soit l'ordre de passage des deux conditions (avec et sans sommeil), l'état émotionnel de l'ensemble des sujets caractérisé par l'adjectif « abattu » est plus élevé lors du 2nd passage que lors du 1^{er} passage. Après la conduite, cette constatation est inversée pour les sujets débutant par la condition sans sommeil et annulée pour les sujets débutant par la condition avec sommeil. De plus, quels que soient la condition (avec ou sans sommeil) et l'ordre de passage (avec/Sans sommeil ou Sans/Avec sommeil), les sujets se disent plus abattus après la conduite qu'avant. Cependant, pour une même condition (avec ou sans sommeil), cette différence observée entre « l'avant » et « l'après » conduite apparaît plus élevée lors du 1^{er} passage que lors du 2nd.

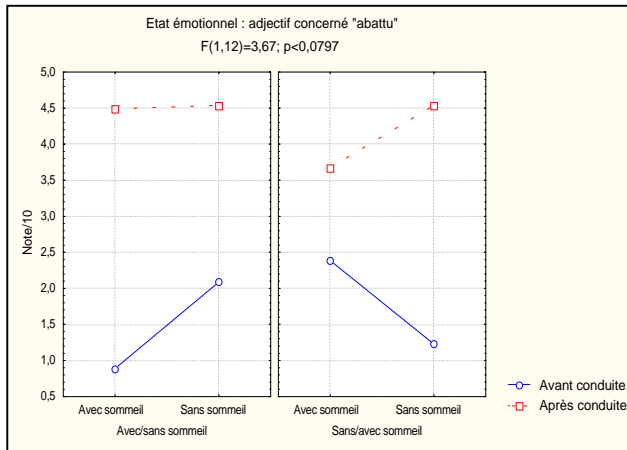


Fig.23 : Evaluation subjective des sujets de leur état émotionnel caractérisé par l'adjectif abattu en fonction de la passation, de l'ordre de passage et du moment de l'évaluation

3.3.3.4. Evaluation de l'état émotionnel : adjectif concerné « tendu »

L'état de tension des sujets, quant à lui, affiche également une différence significative entre les deux moments d'évaluation subjective (avant et après la conduite) (F(1,12)=5,47 ; p<0,038 ; cf. fig.24). Les sujets se sentent plus tendus après la conduite qu'avant et ce quels que soient le sexe et la condition.

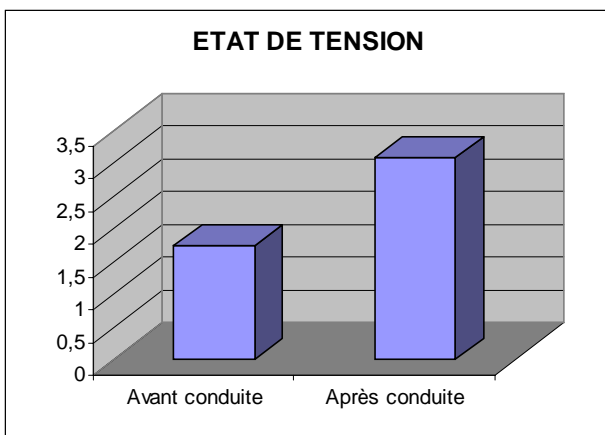


Fig.24: Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur état de tension

Cependant, suivant l'ordre de passage, cette augmentation de la tension des sujets après la conduite diffère significativement (F(1,12)=6,21 ; p<0,0284 ; cf. fig. 25). En effet, seuls les sujets débutant par la condition avec sommeil se disent plus tendus après la conduite.

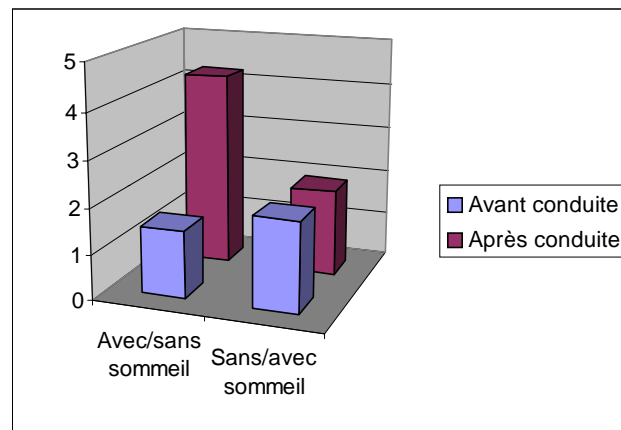


Fig.25 : Evaluation subjective des sujets de leur état de tension avant et après la conduite en fonction de l'ordre de passage.

3.3.3.5. Evaluation de l'état émotionnel : adjectif concerné « heureux »

En revanche, quels que soient le sexe, la condition et l'ordre de passage, les sujets s'estiment aussi heureux après la conduite qu'avant celle-ci.

3.3.3.6. Evaluation de l'état émotionnel : adjectif concerné « calme »

Seule l'interaction des facteurs Condition x Ordre de passage x Moment d'évaluation subjective tend à présenter un effet significatif sur l'état de calme des sujets ($F(1,12)=3,58$; $p<0,083$; cf. fig. 26). Avant la conduite, les sujets débutant par la condition avec sommeil, s'estiment plus calmes lors de cette passation que lors de la condition sans sommeil. Les sujets débutant par la condition sans sieste préalable, quant à eux, se disent tout aussi calmes dans les deux conditions (sans et avec sommeil). En revanche, après la conduite, ces derniers, affichent un calme plus important lors de la condition avec sommeil comparativement à la condition sans sommeil. Suite à la conduite, les sujets débutant par la condition avec sommeil, quant à eux, sont tout aussi calmes dans les deux conditions (avec et sans sommeil).

Ces derniers, par ailleurs, affichent un calme plus important avant la conduite qu'après et ce, quelle que soit la condition. Cependant, la diminution du calme de ces sujets observée consécutivement à la conduite apparaît plus importante lors de leur condition avec sommeil comparativement à leur condition sans sommeil. Les sujets débutant par la condition sans sommeil, quant à eux, s'estiment plus calmes avant la conduite qu'après celle-ci au cours de la condition sans sommeil. Inversement, ils se disent plus calmes après la conduite qu'avant celle-ci lors de la condition avec sommeil.

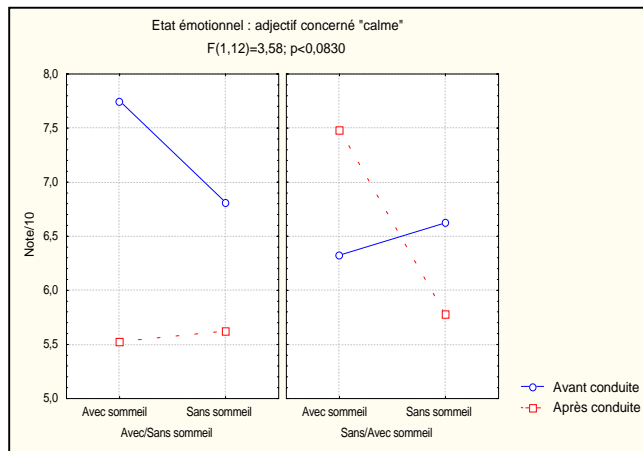


Fig.26 : Evaluation subjective des sujets de leur état de calme avant et après la conduite en fonction de la passation et de l'ordre de passage des 2 passations

3.3.3.7. Evaluation de l'état émotionnel : adjectif concerné « être de bonne humeur »

L'analyse statistique révèle également une variation significative de l'humeur des sujets entre le moment précédant la conduite et le moment succédant à la conduite ($F(1,12)=28,04 ; p<0,0002 ;$ cf. fig.27). Les sujets se disent de meilleure humeur avant la conduite qu'après.

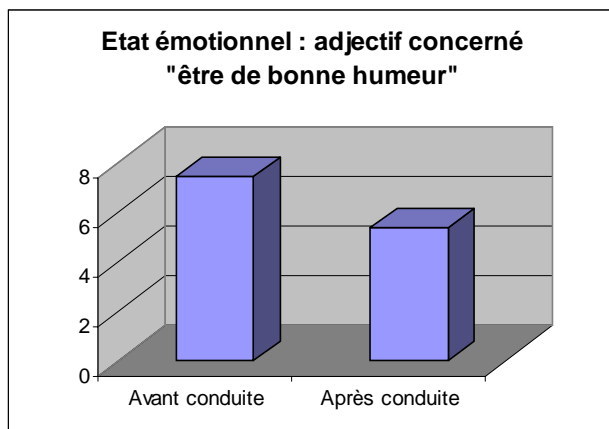


Fig.27 : Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur bonne humeur

3.3.3.8. Influence de la conduite sur l'état émotionnel et attentionnel des sujets caractérisé par les adjectifs suivants : « Alerté », « capable de me concentrer », « abattu », « tendu », « heureux », « calme », « de bonne humeur » : récapitulatif

Les sujets s'estiment plus alertes, plus aptes à se concentrer et de meilleure humeur avant la conduite qu'après. Par ailleurs, ils se disent plus abattus et plus tendus

après la conduite qu'avant. En revanche, les sujets s'estiment aussi heureux et aussi calmes après la conduite qu'avant celle-ci (cf. fig. 28).

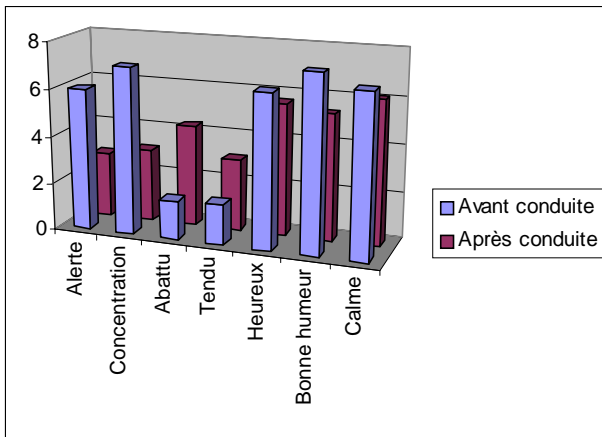


Fig.28: Influence de la conduite sur l'évaluation subjective des sujets de leur état émotionnel et attentionnel

3.4. LES MESURES PHYSIOLOGIQUES

3.4.1. LES ELECTROENCEPHALOGRAMMES

3.4.1.1. Procédure d'analyse

Quatre dérivations électroencéphalographiques (EEG) ont été enregistrées en permanence pendant toute la durée des épreuves de conduite :

- dérivation frontale gauche (F3) ;
- dérivation centrale gauche (C3) ;
- dérivation pariétale gauche (P3) ;
- dérivation occipitale gauche (O1).

Ces quatre dérivations monopolaires ont été référencées par rapport à un site commun : la mastoïde droite. La limitation à un nombre acceptable d'électrodes portées par le sujet actif nous impose un choix opérationnel. Le choix de dérivations situées sur le même hémisphère se justifie par le fait que les différences EEG de veille entre les hémisphères droit et gauche sont moins marquées que les différences pouvant apparaître dans l'axe antéro-postérieur.

L'objectif de l'étude étant de pouvoir comparer l'évolution progressive du niveau global de vigilance du conducteur tout au long de l'épreuve de conduite, il a été privilégié une analyse des puissances spectrales de l'EEG sur des durées suffisamment longues pour lui assurer une certaine stabilité. C'est ainsi qu'il a été choisi de calculer la puissance moyenne pour chaque bande de fréquence utilisée classiquement pour l'évaluation de l'EEG de veille et sur une durée correspondant à chaque tour de circuit (50 km, soit approximativement 20 à 25 minutes de conduite).

En conséquence, la procédure d'analyse retenue a été la suivante :

- subdivision des enregistrements électroencéphalographiques correspondant à chaque tour de circuit ;
- élimination des enregistrements artéfactés (notamment par la présence de mouvements importants de la tête du sujet) et correction des artéfacts oculaires (contamination électrique des potentiels EEG antérieurs par les signaux électriques générés par les clignements palpébraux) ;
- analyse spectrale réalisée sur une dérivation EEG à raison d'une analyse effectuée pour chaque tranche de 2 secondes et sur la totalité de l'enregistrement libre d'artéfacts correspondant à chaque tour de circuit;
- calcul de la puissance spectrale moyenne (exprimée en μV^2) pour chaque bande de fréquence et sur l'ensemble du tour de circuit considéré.

3.4.1.2. Choix des bandes de fréquence et du rapport de puissance

L'électroencéphalogramme de veille est composé par un ensemble de patterns EEG qui se caractérisent tant par leur fréquence que leur amplitude. La présence et l'abondance de ces activités dans certaines bandes de fréquence permet de distinguer les différents niveaux d'éveil du sujet et, par là même, de mesurer son degré d'opérationnalité dans l'exécution de certaines tâches et de juger de son état global de vigilance.

Dans l'étude réalisée, nous avons retenu les activités EEG suivantes : thêta : 4 à 8 Hz, alpha : 8 à 12 Hz, bêta : 12 à 25 Hz. Par contre, la bande delta (0,5 à 4 Hz) n'a pas été retenue, car elle n'a une signification vraiment pertinente que dans le cas d'un sommeil bien établi. Cette bande de fréquence est par ailleurs fortement parasitée par l'activité électrique liée aux mouvements oculaires et aux mouvements de tête du sujet. Parmi les activités EEG retenues, la bande alpha apporte une indication pertinente quant à la survenue d'un état de relaxation ou la présence d'un état d'hypovigilance. L'augmentation de la puissance dans cette bande EEG traduira donc une dégradation de la vigilance et un état qui peut évoluer vers la somnolence. Une augmentation de la puissance du signal EEG dans la bande thêta survenant concomitamment à la diminution de la puissance dans la bande alpha, confirme l'établissement d'un état de somnolence qui peut se traduire à très court terme par un endormissement inopiné du conducteur. La bande bêta, quant à elle, constitue le reflet d'une activation corticale correspondant à un état d'éveil normal ou d'une réactivation corticale accompagnant le retour à ce niveau d'éveil consécutif à un épisode de somnolence. L'augmentation de puissance de cette activité bêta peut donc traduire, dans certains cas, le conflit auquel le conducteur est confronté lorsqu'il lutte contre l'endormissement au volant.

Le calcul de certains rapports de puissance sont également réalisés afin de mieux identifier la nature des modifications susceptibles de se produire. Ainsi, le rapport thêta/alpha nous donne une indication sur l'évolution progressive du niveau de vigilance allant vers l'endormissement.

Enfin, dans la presque totalité des cas, les analyses spectrales ont été effectuées sur la dérivation centrale (C3) et, dans le cas où la qualité de cette dernière était

insuffisante, sur la dérivation pariétale (P3). Dans aucun des cas il n'a été nécessaire d'utiliser la dérivation frontale (la plus artéfactée par les potentiels oculaires) ou la dérivation occipitale (très excentrée et par conséquent beaucoup moins représentative de l'activité EEG cérébrale globale).

3.4.1.3. Résultats obtenus pour les puissances absolues dans les différentes bandes de fréquence

3.4.1.3.1. Puissance absolue dans la bande alpha

Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les deux sexes. Il n'existe pas non plus de différence statistiquement significative entre les deux conditions (avec ou sans sieste préalable).

Il existe, par contre, une différence statistiquement significative entre les divers tours de circuit ($F(6,78) = 3,620$; $p = 0,0032$; figure 29). Le test LSD montre que les différences sont essentiellement significatives entre le premier tour et les deux derniers.

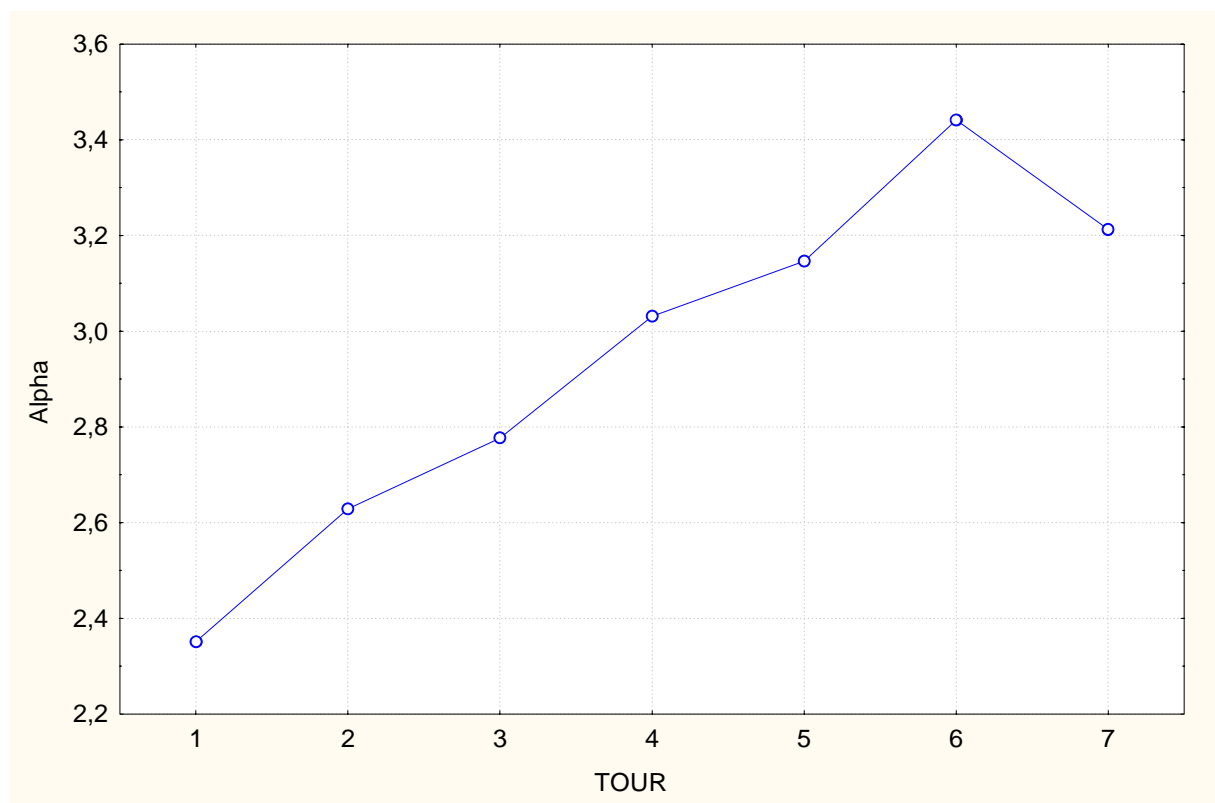


Figure 29: évolution de la puissance absolue dans la bande alpha (en μV^2) en fonction des tours de circuit.

De la même façon, le tour de circuit et le sexe du conducteur interagissent sur l'indice alpha ($F(6,78) = 2,973$; $p = 0,0114$; voir figure 30).

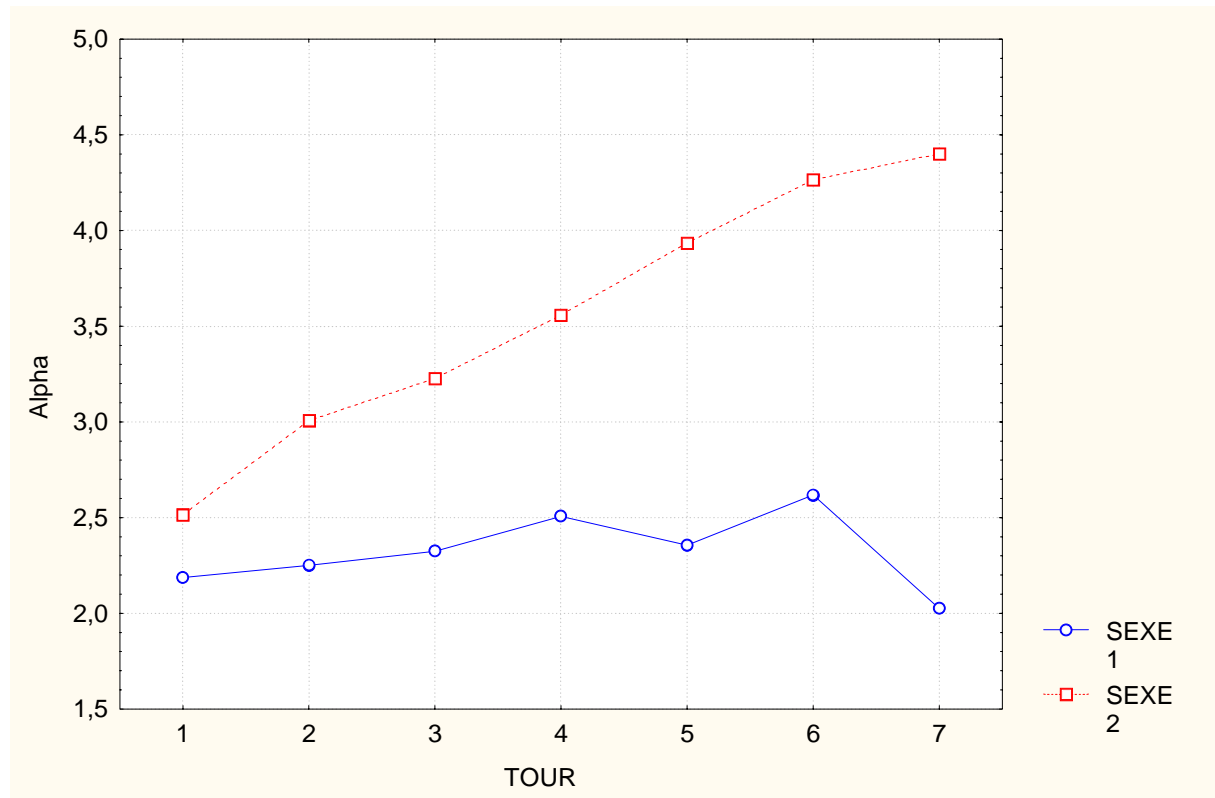


Figure 30: évolution de la puissance absolue dans la bande alpha (en μV^2) en fonction du tour de circuit et du sexe du conducteur

L'augmentation progressive de la puissance absolue dans la bande alpha se fait essentiellement chez les sujets féminins alors que celle-ci est relativement stable du début à la fin de la conduite chez les sujets masculins.

3.4.1.3.2. Puissance absolue dans la bande thêta

Il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les sexes, ni entre les tours, ni entre les deux conditions, en ce qui concerne la puissance absolue dans la bande thêta. De même, aucune des interactions testées, ne met en évidence une différence statistiquement significative pour cet indicateur.

3.4.1.3.3. Puissance absolue dans la bande bêta

La seule différence statistiquement significative révélée par les analyses concerne la puissance absolue bêta entre les différents tours du circuit ($F(6,78) = 2,323$; $p = 0,0407$; voir figure 31). Il apparaît une augmentation progressive de cette puissance depuis le premier tour de circuit jusqu'au sixième, le septième affichant une valeur comparable à celle du tour précédent.

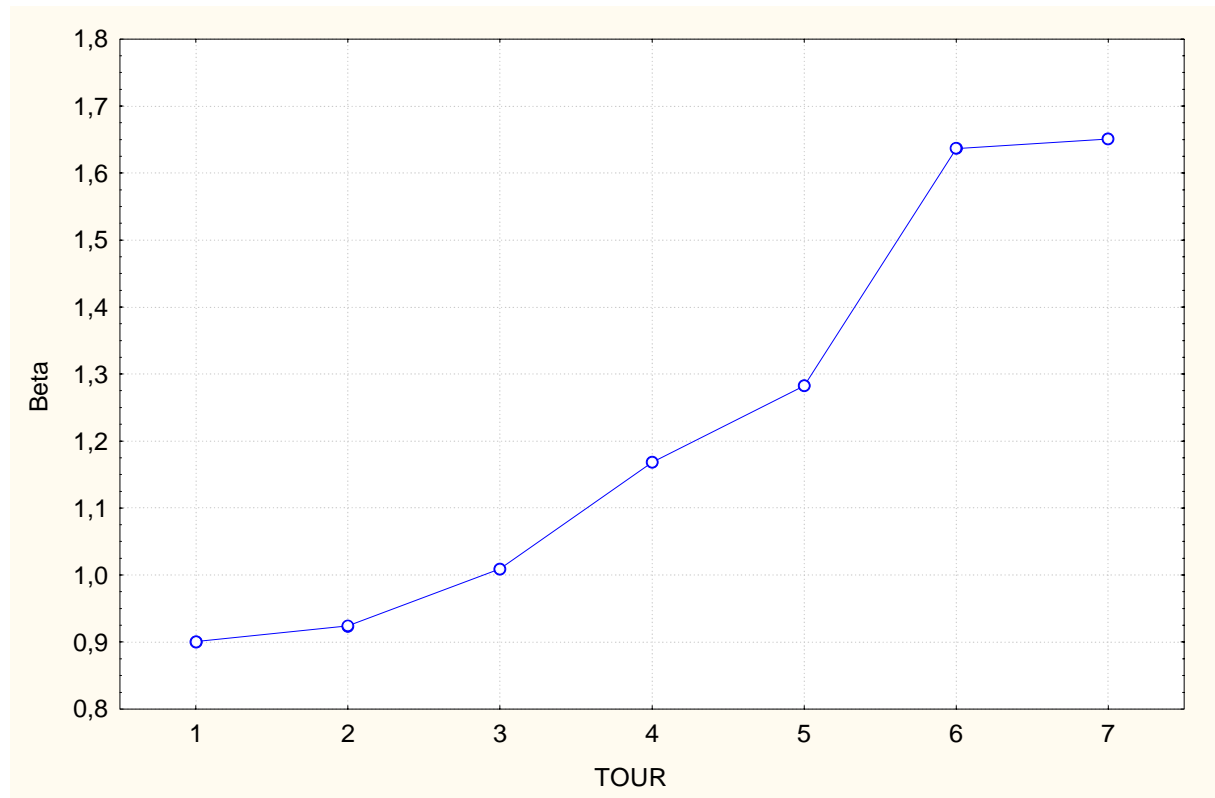


Figure 31: évolution de la puissance absolue dans la bande bêta (en μV^2) en fonction du tour de circuit.

3.4.1.3.4. Rapport de puissance entre thêta et alpha

Le rapport entre les puissances absolues thêta sur alpha est significativement différent en fonction du sexe des sujets ($F(1,13) = 5,586$; $p = 0,0343$). Ce rapport est de 2,024 chez les sujets masculins et de 1,169 chez les sujets féminins.

Ce rapport thêta/alpha n'est, par contre, pas significativement différent en fonction du tour ou de la condition. Il n'existe par ailleurs aucune interaction statistiquement significative entre les différentes variables considérées.

3.4.2. LA FREQUENCE CARDIAQUE

L'analyse de variance met en évidence une différence statistiquement significative entre les deux sexes, pour ce qui est de la fréquence cardiaque moyenne ($F(1,13) = 5,967$; $p = 0,0296$). La fréquence cardiaque moyennée sur toute la durée de l'épreuve de conduite est de 65,8 bat/mn chez les hommes et de 75,6 bat/mn chez les femmes.

Il existe par ailleurs un effet statistiquement significatif du tour de circuit ($F(6,78) = 13,867$; $p = 0,0001$). Ainsi, la fréquence cardiaque diminue progressivement du 1^{er} au 5^{ème} tour, puis se stabilise jusqu'à la fin de l'épreuve de conduite (figure 32).

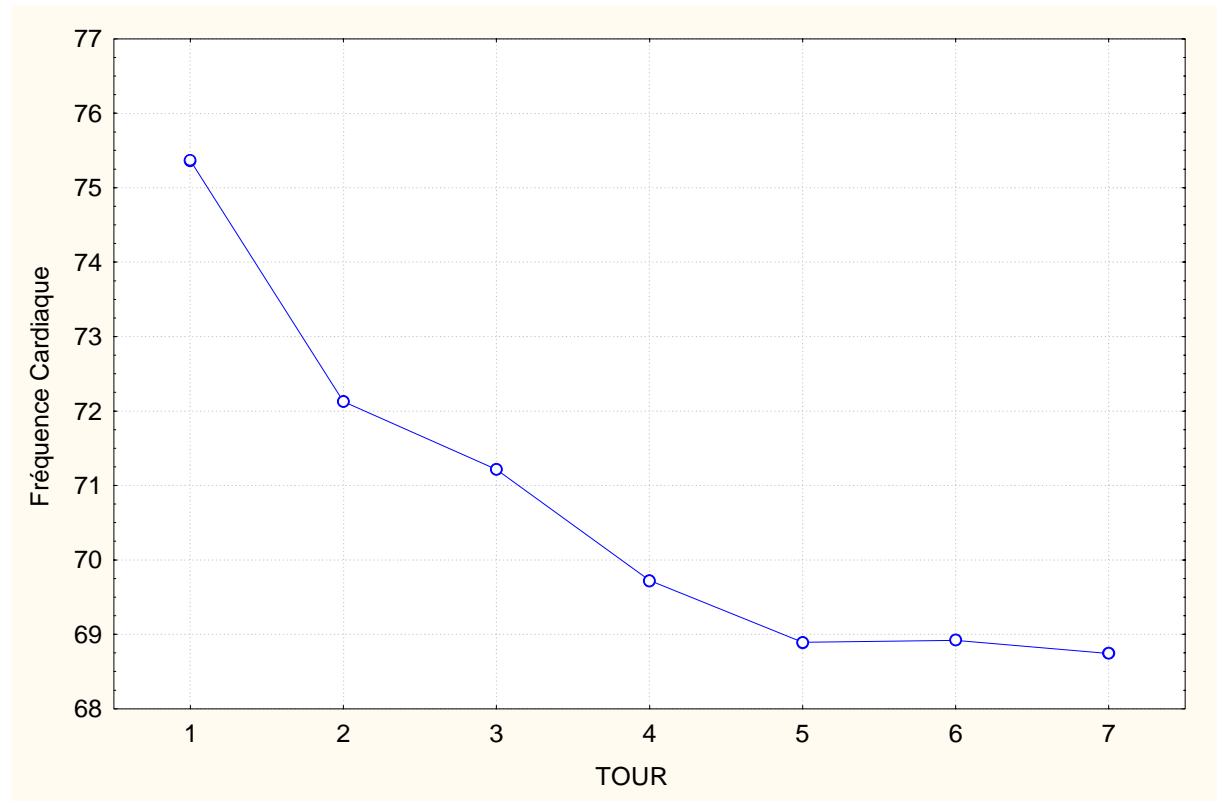


Figure 32 : Evolution de la fréquence cardiaque moyenne au fil des tours de circuit.

Enfin, la condition tend à avoir un effet sur la fréquence cardiaque ($F(1,13) = 3,102$; $p = 0,101$). Ainsi, sur l'ensemble de l'épreuve de conduite, la fréquence cardiaque moyenne est de 68,9 bat/mn dans la condition où les sujets ont pratiqué une sieste préalable et de 72,6 bat/mn dans le cas où ils ne l'ont pas pratiquée.

4. DISCUSSION

4.1. LA PRATIQUE DE LA SIESTE

La sieste effectuée dans l'après midi d'une des deux passations a été pratiquée par la grande majorité des sujets (12 sujets sur les 13 ayant répondu au questionnaire). Cette sieste est évidemment très variable d'un sujet à l'autre (de 20 à 120 mn) et elle était jugée de bonne qualité dans 7 cas sur 12. La durée de la sieste était toutefois sensiblement plus longue chez les sujets masculins (95 mn en moyenne) que chez les sujets féminins (49 mn en moyenne).

On peut donc penser que la pratique de la sieste au laboratoire n'a pas été contrecarrée par des facteurs de perturbation propres au lieu de sommeil et les valeurs observées sont vraisemblablement assez proches des valeurs que l'on peut observer dans les conditions habituelles pour une population aussi jeune. Il est notamment remarquable que 4 sujets sur treize estiment avoir dormi pendant deux heures, soit la totalité du temps qui leur était alloué pour pratiquer cette sieste.

En conséquence, nous pouvons considérer que la sieste pratiquée au laboratoire est probablement de durée suffisante pour pouvoir espérer en tester les effets sur la conduite automobile nocturne effectuée lors de la soirée suivante. Cela devrait donc nous permettre de vérifier l'existence éventuelle d'effets bénéfiques de la prise d'une sieste sur le maintien de la vigilance ainsi que sur les performances de conduite au cours d'une épreuve de conduite réalisée quelques heures plus tard.

4.2. LES PERFORMANCES DE CONDUITE

4.2.1. PERFORMANCES ANALYSEES SUR L'ENSEMBLE DE L'EPREUVE DE CONDUITE

La vitesse moyenne adoptée sur l'ensemble du parcours et son écart-type, ne sont pas significativement différents selon le sexe (avec toutefois une tendance à rouler un peu plus vite chez les hommes) ou la condition (avec ou sans sieste préalable). En ce qui concerne la vitesse, il existe une interaction significative entre la condition et l'ordre de passage. Ceci conduit à une vitesse moyenne plus élevée lors de la deuxième passation que lors de la première, quelle que soit la condition, traduisant vraisemblablement en cela un effet d'apprentissage.

De la même façon, la vitesse maximale montre une interaction significative entre condition et ordre de passage. Lors de la deuxième passation, quelle que soit la condition, la vitesse maximale est significativement plus élevée que lors de la première. Ici encore, il n'y a pas de différence significative entre les deux conditions ni entre les sexes. Pour ce qui est de cette dernière comparaison toutefois, le seuil de significativité est presque atteint, les hommes ayant tendance à avoir une vitesse maximale plus élevée que les femmes.

En ce qui concerne la vitesse minimale, les mêmes conclusions peuvent être faites, cette vitesse minimale étant plus élevée lors de la deuxième passation que lors de la première, quelle que soit la condition. Là encore, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les sexes ou les deux conditions (avec ou sans sieste préalable).

La position latérale moyenne ne montre strictement aucune différence significative entre les sexes, les conditions, l'ordre de passage ou encore entre les diverses interactions possibles. Il en est exactement de même pour les diverses sorties de route analysées.

En conséquence, il n'apparaît aucune différence statistiquement significative selon la condition (avec ou sans sieste préalable) dans les principaux indicateurs de performance de conduite retenus. Ceci signifie, soit que la sieste n'a pas d'effet secondaire sur les performances de conduite nocturne mesurées quelques heures plus tard, soit que les critères retenus ne sont à même de traduire un effet bénéfique possible lié à la prise de cette sieste.

Pourtant, la position latérale moyenne et sa variabilité, de même que les sorties de voie ou de route, sont des critères qui semblent particulièrement pertinents dans la traduction d'une hypovigilance s'installant progressivement au cours de la conduite prolongée, surtout si celle-ci est nocturne.

Les effets observés sur la vitesse indiquent vraisemblablement une influence de l'apprentissage entre les deux passations, tant dans l'utilisation du simulateur (habitacle d'une voiture réelle) que dans la connaissance du circuit et des événements pouvant s'y produire. Ainsi, l'augmentation de la vitesse moyenne lors de la deuxième passation, allant de pair avec une augmentation tant de la vitesse maximale que de la vitesse minimale, permet de soutenir l'hypothèse de l'installation progressive de la fatigue et de l'hypovigilance. Il n'est, par contre, pas observé d'effet de la condition (avec ou sans sieste) et, là encore, on peut se demander si l'indicateur est pertinent ou si l'effet de la sieste préalable est minime en regard de l'épreuve de conduite consécutive.

4.2.1. PERFORMANCES ANALYSEES TOUR PAR TOUR

Il existe un effet statistiquement significatif du facteur « tour de circuit » tant en ce qui concerne la vitesse moyenne que l'écart type de cette vitesse et que la vitesse maximale. Ces trois indicateurs augmentent avec le temps et ils sont significativement plus élevés à la fin de l'épreuve qu'au début de celle-ci.

Par contre, la vitesse minimale augmente significativement dans les quatre premiers tours de circuit puis elle diminue progressivement jusqu'au dernier tour où elle atteint sa valeur la plus basse.

L'ensemble de ces résultats se traduit (voir figure 12) par une augmentation progressive au fil des tours, de l'écart entre les valeurs extrêmes de vitesse.

Là encore, il n'y a pas d'effet statistiquement significatif du temps de conduite sur la position latérale moyenne. En ce qui concerne les sorties de route, le seul effet du temps de conduite concerne le nombre de sorties sur le côté droit de la route qui augmente significativement du premier tour au quatrième puis se stabilise jusqu'à la fin de l'épreuve.

L'ensemble de ces résultats est cohérent et en parfait accord avec des résultats obtenus antérieurement au laboratoire. L'augmentation progressive des valeurs de vitesse traduit, là aussi, un effet d'apprentissage au cours d'une même épreuve de conduite. Par contre, l'augmentation de la variabilité de la vitesse ainsi que l'augmentation de l'écart entre vitesse maximale et vitesse minimale au fil des tours, traduisent certainement un effet de la fatigue, voire l'établissement d'une hypovigilance progressive.

4.3. LES EVALUATIONS SUBJECTIVES

Les conducteurs se disent être plus fatigués, plus somnolents, moins alertes, moins aptes à se concentrer, plus abattus, plus tendus et de moins bonne humeur après la conduite qu'avant celle-ci. Ces variations statistiquement significatives entre les valeurs mesurées avant et les valeurs mesurées à l'issue de l'épreuve de conduite, traduisent l'effet de la fatigue dont on peut imputer la cause à la conduite elle-même, mais aussi, sans doute, à l'heure de la nuit où se termine cette épreuve.

Une seule différence statistiquement significative entre les deux sexes, est observée pour l'évaluation du niveau de somnolence, les conductrices se disant être plus somnolentes que les conducteurs, cette différence étant toutefois statistiquement significative que pour l'évaluation effectuée après la conduite.

Le facteur condition (avec ou sans sieste) ne donne aucune différence statistiquement significative. Mais l'on peut toutefois relever, à titre indicatif, que les sujets, quel que soit leur sexe, disent être plus somnolents lors de la condition « sans sieste préalable » que dans la condition « avec sieste préalable » ; le seuil statistique de 0,05 n'étant toutefois pas atteint car il est de 0,0641 dans ce cas précis.

4.4. LES MESURES PHYSIOLOGIQUES

4.4.1. LES ELECTROENCEPHALOGRAMMES

Les indicateurs retenus pour l'évaluation de l'état physiologique de vigilance sont extraits de l'activité électroencéphalographique et leurs valeurs numériques, calculées sur des tours complets de circuit, permettent de suivre l'état cérébral global tout au long de l'épreuve.

Ainsi, il apparaît une augmentation progressive, au fil des tours, pour la puissance absolue obtenue pour la bande EEG alpha et cette augmentation progressive est surtout due aux sujets féminins. Parallèlement, on observe une augmentation progressive de la puissance du signal dans la bande bêta alors qu'il n'existe pas de différence pour la puissance dans la bande thêta au fil des tours.

Ces résultats sont donc en faveur d'une augmentation progressive de l'hypovigilance des conducteurs (augmentation de la puissance alpha) sans toutefois atteindre le niveau de la somnolence (stabilité de la puissance thêta et du rapport thêta/alpha). L'augmentation de la puissance dans la bande bêta est vraisemblablement due à la survenue de fréquentes réactivations cérébrales, phénomènes apparaissant avec une plus grande fréquence lors de l'installation de l'hypovigilance. Cela va de pair avec une augmentation de l'activité motrice des sujets et la survenue plus fréquente de gestes auto-centrés et de réajustements posturaux.

Il n'existe, par contre, aucun effet de la condition sur l'évolution de la puissance du signal dans les différentes bandes considérées. Ceci signifie donc que la prise d'une sieste, préalablement à la conduite, ne modifie en rien le décours du niveau physiologique de la vigilance. En d'autres termes, si installation de l'hypovigilance il y a, celle-ci se fait indépendamment de la présence d'une sieste ou non et elle accompagne simplement l'installation progressive de la fatigue à un moment de la nuit où le conducteur est particulièrement sensible à ce phénomène.

Nous pouvons également apporter une explication au fait que le rapport thêta/alpha est significativement plus élevé chez les hommes que chez les femmes. Ce résultat est à rapprocher du fait que ce sont les conductrices qui montrent une augmentation progressive de la puissance alpha du début à la fin de l'épreuve de conduite. Parallèlement, les sujets féminins se déclarent plus somnolents que leurs homologues masculins à l'issue de l'épreuve de conduite.

4.4.2. LA FREQUENCE CARDIAQUE

La différence de fréquence cardiaque moyenne entre les deux sexes est une différence biologique bien connue. Le résultat obtenu ici n'est donc pas surprenant. La diminution progressive de la fréquence cardiaque au fil du déroulement de l'épreuve de conduite est explicable par le fait que l'appréhension et l'attention initiale du conducteur tendent à disparaître progressivement au fil du temps. De plus, la station assise prolongée s'accompagne systématiquement par un ralentissement progressif de la fréquence cardiaque et, dans le cas présent, il n'est pas exclu de voir aussi dans ce ralentissement une influence du rythme circadien de la fréquence cardiaque.

Le résultat indicatif (mais non statistiquement significatif) indiquant une fréquence cardiaque moyenne plus basse dans l'épreuve précédée d'une sieste est intéressant et mériterait d'être confirmée dans une étude future. Il serait alors tout à fait pertinent de suivre (avec ou en l'absence de sieste) la fréquence cardiaque tout au long de l'après midi, puis de la soirée et de l'épreuve de conduite. Dans la mesure où elle serait confirmée, cette diminution de la fréquence cardiaque après la sieste plaiderait en faveur d'une moindre charge mentale ou de travail lors de cette tâche nocturne.

5. CONCLUSIONS

A la question : « La prise d'une sieste au cours de l'après midi améliore-t-elle la conduite de nuit consécutive ? », nous sommes obligés de répondre que les effets de la sieste, s'ils existent, sont minimes en regard de la contrainte que représente la conduite nocturne. Aucun effet objectivé par les mesures physiologiques ou par les mesures des performances de conduite n'a été mis en évidence. Les seules différences, qui d'ailleurs n'atteignent pas le seuil de significativité bien que proche de celui-ci, concernent l'appréciation d'être moins somnolent et une fréquence cardiaque moyenne plus basse lors de la conduite effectuée après la sieste. Malheureusement, ces résultats sont très insuffisants pour pouvoir reconnaître à la sieste réalisée l'après midi, un effet bénéfique sur la conduite effectuée en début de nuit. L'écart de quelques heures entre les deux activités peut sans doute expliquer, en partie, cette absence d'effet.

Les autres résultats obtenus dans cette recherche confortent et complètent des résultats obtenus antérieurement. Les différences entre hommes et femmes sont essentiellement des différences physiologiques et elles portent peu sur les performances de conduite. Enfin, la fatigue se développant progressivement tout au long de l'épreuve de conduite, réalisée dans une tranche horaire peu propice au maintien de la vigilance, se traduit par des effets et des comportements en grande partie attendus. L'ensemble de ces résultats renforcent l'idée que la conduite nocturne est une conduite à risques.