

ALCOol, vigiLAnce, Charge de travail : facteurs d'accident chez les jeunes conducteurs

ALCOLAC

Rapport intermédiaire n° 2 (à 12 mois)

IFSTTAR-TS2 / Laboratoire Mécanismes d'Accidents (LMA)

Centre de Recherche PsyCLE, Équipe « Cognition, émotion et expertise »

Convention 2013/MP/03



Auteurs :

Julie Paxion^{a, b}, Laurent Ferrier^a, Catherine Berthelon^a, Edith Galy^b

^a Département Transport Santé Sécurité (TS2) / Laboratoire Mécanismes d'Accidents (LMA)
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
Cité Descartes, Champs sur Marne, 14-20 boulevard Newton, 77447 Marne la Vallée Cedex

^b Université d'Aix Marseille (AMU)
Centre de Recherche PsyCLE, Equipe « Cognition, émotion et expertise »
Pôle de Psychologie, Sciences de l'Éducation
29 avenue R. Schuman, 13621 Aix-en-Provence Cedex 1

Pour la production d'images :

Isabelle Aillerie

Département Composants et Systèmes (COSYS) / Laboratoire exploitation, perception, simulateurs et simulations (LEPSIS)
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
Cité Descartes, Champs sur Marne, 14-20 boulevard Newton, 77447 Marne la Vallée Cedex

SOMMAIRE

Rapport intermédiaire n° 2 (à 12 mois)	1
1. Rappel du contexte et du positionnement du projet.....	5
1.1. Avancement prévu du projet.....	6
1.2. Thématique et population étudiée.....	6
1.3. Outil d'expérimentation.....	7
2. Avancée de la première expérience : vigilance, charge de travail, tension et jeunes conducteurs	7
3. Contexte théorique.....	8
3.1. Difficultés des tâches de conduite inhérentes aux situations	8
3.2. Surcharge : impact de la situation de conduite et de l'expérience	8
3.3. Etats internes modulant la surcharge	10
3.4. Problématique	12
4. Partie expérimentale	13
4.1. Les participants.....	13
4.2. Protocole expérimental	13
4.3. Analyses statistiques.....	15
Variables analysées dans les portions sans piétons.....	16
Variables analysées dans les portions avec piétons	17
4.4. Résultats.....	17
4.4.1. Portions sans piétons.....	17
4.4.2. Portions avec piétons	28
4.5. Synthèse et discussion	44
4.5.1. Portions sans piétons.....	44
4.5.2. Portions avec piétons	47
6. Conclusion	50
6.1. Portions sans piétons.....	50
7. Avancée de la seconde expérience : vigilance, alcool et jeunes conducteurs.....	53
Rappel du protocole expérimental	53
8. Valorisation.....	54
ANNEXE 1 : Échelle de Thayer.....	59
ANNEXE 2 : NAXA-TLX adapté à l'expérience	63

1. Rappel du contexte et du positionnement du projet

L'âge et le sexe des conducteurs représentent les principaux facteurs d'implication dans les accidents (source ONISR, 2011). Les études épidémiologiques montrent ainsi que les jeunes ont une probabilité d'être impliqués dans un accident largement plus importante que celle des autres conducteurs à l'exclusion des conducteurs les plus âgés et les jeunes conducteurs masculins âgés de moins de 24 ans présentent un risque plus élevé d'accidents. De plus, les statistiques mensuelles d'accidents après l'obtention du permis de conduire montrent que le taux initial très élevé d'accidents décroît rapidement pendant les premiers mois de conduite.

Par ailleurs, d'après le modèle de courbe en U renversé d'Anseau et Timsit-Berthier, le niveau de performance augmente avec celui de la vigilance jusqu'à un optimum, au-delà de cet optimum l'augmentation de la vigilance entraîne au contraire une baisse de la performance. L'excès de vigilance que représentent le stress ou l'hyperexcitation a un pouvoir de dégradation plus rapide sur les activités complexes que sur les activités les plus simples. Il y a donc un niveau optimal de vigilance pour chaque type de tâche réalisée et la dégradation de la performance peut être liée à de l'hypovigilance ou de l'hypervigilance.

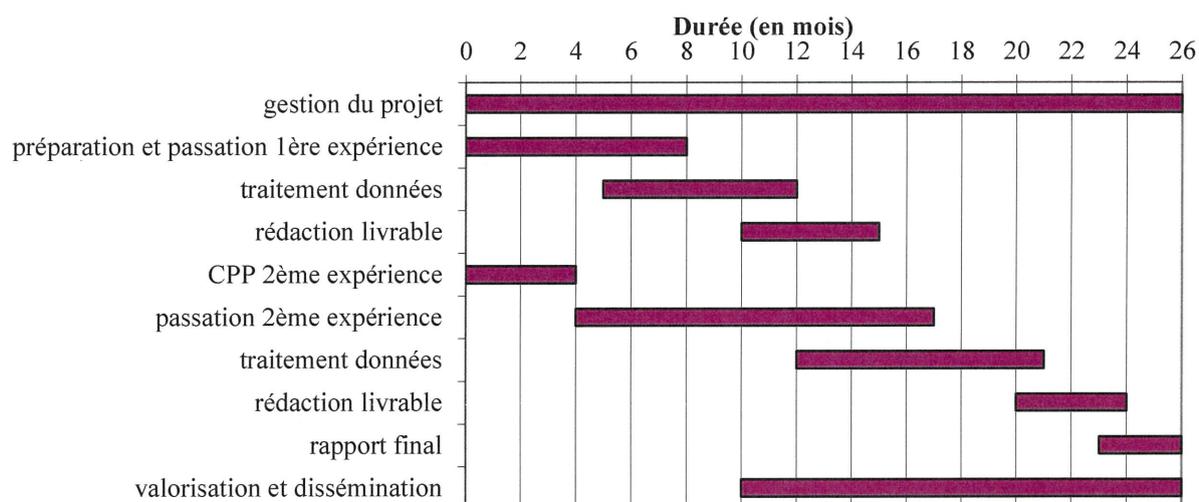
La charge de travail est ainsi également en lien avec la vigilance. Une augmentation de cette charge entraîne en effet une hausse de la vigilance mais la tendance s'inverse lorsque les tâches difficiles et précises entraînent une surcharge, avec dans ce cas une diminution de la vigilance. De plus, lorsque la tension reflétant l'évaluation du danger relatif aux activités (Thayer, 1989 ; in Kosćec & Radosević-Vidacek, 2004) est élevée, cela entraîne une hausse de la charge de travail subjective (Ucelli et al., 2011) et une baisse de vigilance (Thayer, 1986).

L'objet du travail est donc de manipuler ces facteurs de variations de la vigilance afin d'estimer en quoi leurs effets peuvent s'avérer délétères sur la conduite, notamment chez de très jeunes conducteurs novices.

D'autre part, jusqu'alors les recherches ont comparé les performances de jeunes conducteurs novices à celles de conducteurs plus expérimentés et plus âgés. Les facteurs liés à l'âge entrent ainsi en jeu dans les résultats, tel le fait que les jeunes conducteurs ont tendance à prendre plus de risques que les conducteurs plus âgés (plus d'excès de vitesse, non-respect des distances de sécurité), ce qui rend difficile la dissociation de l'effet de l'âge et de l'expérience. Afin d'éviter cette confusion, nous avons réduit les écarts d'âge entre les groupes de conducteurs étudiés. Ceci justifie notre choix d'étudier les performances de jeunes conducteurs novices et de jeunes conducteurs expérimentés d'âge très proche (18 ans versus 21 ans).

1.1. Avancement prévu du projet

Le projet ALCOLAC a été notifié par la Fondation Sécurité Routière le 02/12/2013. Le premier rapport est effectué 6 mois après la notification, ce second rapport est effectué 12 mois après la notification. Ci-dessous le diagramme définissant les différentes phases du projet telles que proposées à la Fondation.



1.2. Thématique et population étudiée

La thématique abordée dans ce projet concerne la mise en évidence de facteurs d'accident chez les jeunes conducteurs : en premier lieu la charge de travail et le comportement en lien avec la tension et la vigilance, en second lieu la prise de faibles doses d'alcool en lien avec la vigilance. L'objectif général est d'arriver à mieux identifier les facteurs susceptibles d'accroître l'implication des jeunes conducteurs dans les accidents de la route afin d'envisager des actions de sensibilisation et de formation plus ciblées.

Jusqu'alors les recherches ont comparé les performances de jeunes conducteurs novices à celles de conducteurs plus expérimentés et plus âgés, comme le soulignent Mayhew et Simpson (1995). Les facteurs liés à l'âge entrent ainsi en jeu dans les résultats, tel le fait que les jeunes conducteurs ont tendance à prendre plus de risques que les conducteurs plus âgés (plus d'excès de vitesse, non-respect des distances de sécurité), ce qui rend difficile la dissociation de l'effet de l'âge et de l'expérience. Afin d'éviter cette confusion, il semble donc essentiel de réduire les écarts d'âge entre les groupes de conducteurs étudiés ce qui justifie notre choix d'étudier les performances de jeunes conducteurs novices et de jeunes conducteurs expérimentés d'âge très proche (18 ans versus 21 ans). D'autre part, la durée du permis probatoire est de 3 ans en France et pour une personne ayant obtenu son permis de conduire à 18 ans, 21 ans correspond donc à la fin de cette période probatoire.

Le permis probatoire a été instauré le 1er mars 2004, avec un permis de conduire de 6 points. Si le conducteur novice n'a commis aucune infraction, ce n'est qu'à partir de la fin du permis probatoire qu'il se verra attribué un permis de conduire de 12 points. Des restrictions concernant les limitations de vitesse sont également à suivre durant la période probatoire (maximum 110 km/h sur autoroute limitée à 130 km/h, maximum 100 km/h sur autoroute limitée à 110 km/h et maximum 80 km/h sur route limitée à 90 km/h).

1.3. Outil d'expérimentation

L'unité de Recherche Mécanismes d'Accidents dispose d'un simulateur de conduite avec lequel les travaux proposés dans ce projet seront réalisés (Photo 1). C'est un simulateur à base fixe, l'espace conducteur est complet (tableau de bord, pédalier, volant et commandes principales). Les organes de commande suivants : volant, pédale d'accélérateur, pédale de frein, commodo volant et commodo central (contact, démarreur et interrupteur de frein à main) sont équipés de capteurs. Les indicateurs de vitesse, compteurs et voyants du tableau de bord sont connectés. L'image de la scène routière est projetée à l'avant sur 3 écrans, un écran central situé face au conducteur et 2 écrans latéraux orientés à 50° (placés à 1.93 m de l'œil du conducteur), soit un champ visuel de 150° en horizontal et 40° en vertical, chaque écran à une résolution de 1280 x 1024 pixels (Photo 1). La fréquence d'acquisition des différents signaux (position, vitesse, accélération, ...) est de 30 Hz environ.

Un son en quadriphonie est diffusé dans la cabine – bruits internes au véhicule (moteur, roulement, démarreur) et bruits externes spatialisés du trafic. Le simulateur est composé d'un module graphique SIM2 permettant la visualisation en temps réel des scènes visuelles et des scénarii routiers. La gestion du trafic routier se fait par un logiciel nommé Archisim.



Photo 1. Le simulateur de conduite de l'IFSTTAR/MA.

Le lieu d'expérimentation dans lequel est placé le simulateur est agréé par l'agence régionale de santé de la région Provence Alpes Côte d'Azur et permet d'effectuer des recherches biomédicales.

2. Avancée de la première expérience : vigilance, charge de travail, tension et jeunes conducteurs

À ce jour, tous les sujets ont effectué cette expérimentation, les analyses sont terminées. Le déroulement de cette expérience correspond tout à fait au planning prévisionnel proposé à la Fondation Sécurité Routière. Le travail effectué est présenté ci-dessous.

Cette expérience a pour but d'évaluer l'influence de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation sur la charge de travail, la vigilance et la tension perçues et de les confronter à des données objectives (physiologiques et comportementales). Les stratégies et le niveau de vigilance de conducteurs expérimentés sont comparés à ceux de conducteurs débutants. L'effet de la complexité de l'environnement (difficulté du circuit routier simulé) est également testé.

3. Contexte théorique

3.1. Difficultés des tâches de conduite inhérentes aux situations

Les tâches se complexifient avec l'augmentation du nombre d'éléments à traiter cognitivement (Jensen, 1998 ; Stankov, 2000). Par exemple, des situations de conduite composées de routes sinueuses impliquent des tâches complexes. En effet, conduire dans un virage peut se décomposer en trois sous-tâches (Cavallo, Brun-Dei, Laya, & Neboit, 1988) : 1/ entrer dans le virage en décidant du moment approprié pour tourner le volant et anticiper l'amplitude et la vitesse de sa variation, 2/ poursuivre le virage en maintenant le volant dans la trajectoire tout en effectuant des ajustements directionnels en fonction des exigences de la situation, 3/ sortir du virage en décidant du moment pour redresser le volant et aligner le véhicule avec la trajectoire souhaitée. La complexité de ces sous-tâches allonge le temps de traitement de l'information (Jensen, 1992, 1998 ; in Arend et al., 2003), ce qui rend leur réalisation difficile dans les temps impartis. Le taux de changement d'incurvation de la route sert ainsi de critère objectif pour la difficulté de la tâche (Richter, Wagner, Heger, & Weise, 1998 ; Bacs, Lenneman, Wetzell, & Green, 2003 ; in Ba & Zhang, 2011).

La difficulté d'une situation peut être estimée à partir de la capacité de l'individu à adopter le comportement exigé par les demandes de la tâche (Lewis-Evans & Rothengatter, 2009). Plus la situation est complexe, et plus les demandes de la tâche sont importantes, entraînant une hausse de la difficulté (Di Stasi, Renner, Staehr, Helmert, Velichkovsky, Cañas, Catena, & Pannasch, 2010). Fuller (2005) propose ainsi une théorie générale du comportement du conducteur basée sur le modèle d'interface tâche-capacité. D'après ce modèle, différents niveaux de difficulté de la tâche sont dus à l'interaction dynamique entre les déterminants des exigences de la tâche et les capacités du conducteur à réaliser la tâche. La théorie stipule que le conducteur adapte son comportement en choisissant sa vitesse de conduite afin de maintenir un niveau de difficulté de la tâche adapté à ses capacités et nécessaire pour maintenir de bonnes performances. Des exigences de la tâche estimées élevées par le conducteur l'inciteront donc à réduire sa vitesse afin d'en abaisser la difficulté.

3.2. Surcharge : impact de la situation de conduite et de l'expérience

Le concept de charge de travail mesure la quantité de ressources mentales mobilisées par un sujet lors de la réalisation d'une tâche. Il existe des tâches automatisées qui ne demandent pas d'effort mental, des tâches contrôlées simples qui n'exigent qu'un minimum d'effort, des tâches complexes qui peuvent aller jusqu'à générer un effort incompatible avec celui que l'individu est capable de fournir. Ainsi, la même tâche peut donner lieu à une activité contrôlée, donc coûteuse en effort d'attention chez un débutant et à une activité automatisée, donc sans coût mental, chez une personne pourvue d'une longue expérience de conduite. Par conséquent, durant les situations très complexes, une activité peu automatisée engendre une forte mobilisation des ressources mentales pour répondre aux exigences de la tâche (De Waard, 1996) et le niveau de charge de travail peut ainsi excéder les ressources disponibles nécessaires pour la réaliser (Hockey, 1997) jusqu'à atteindre un niveau de surcharge et un effort demandé trop élevé par rapport aux capacités cognitives de l'individu. Parmi les facteurs liés à la performance, le haut risque des conducteurs novices est d'ailleurs fréquemment attribué au manque d'automatisation des routines de conduite (De Craen et coll., 2008 ; Fuller, 2002), ce qui provoque un travail mental plus important pour une même situation (Patten et coll., 2006).

Le modèle de Meister (1976) permet d'établir la relation entre des situations plus ou moins demandeuses (niveau d'exigence) et les performances, par l'intermédiaire de la charge de travail (cf. Figure 1). Les performances, représentées par la vitesse ainsi que la précision dans l'accomplissement de la tâche, sont très bonnes en région A (demandes moyennes) puis diminuent en région B (demandes élevées) pour atteindre un très faible niveau en région C (demandes très élevées). Ce modèle peut être complété par une région D pour Désactivation correspondant à de très faibles demandes lors de tâches monotones (e.g. longues autoroutes) qui, de par l'ennui qu'elles provoquent, réduisent les capacités de l'individu. La région A peut se diviser en trois parties en fonction de l'effort investi (De Waard, 1996). En A1, la monotonie des tâches favorise un traitement automatique de l'information mais l'individu peut fournir un effort compensatoire important (relié à l'état) afin de rester vigilant et les performances peuvent être maintenues malgré la hausse de la charge de travail. En A2, l'augmentation des demandes (e.g., routes rurales) permet de maintenir des performances avec peu d'effort. En A3, la forte augmentation des demandes (e.g., routes urbaines) requiert un effort computationnel important (relié à la tâche) pour traiter le grand nombre d'informations de manière contrôlée.

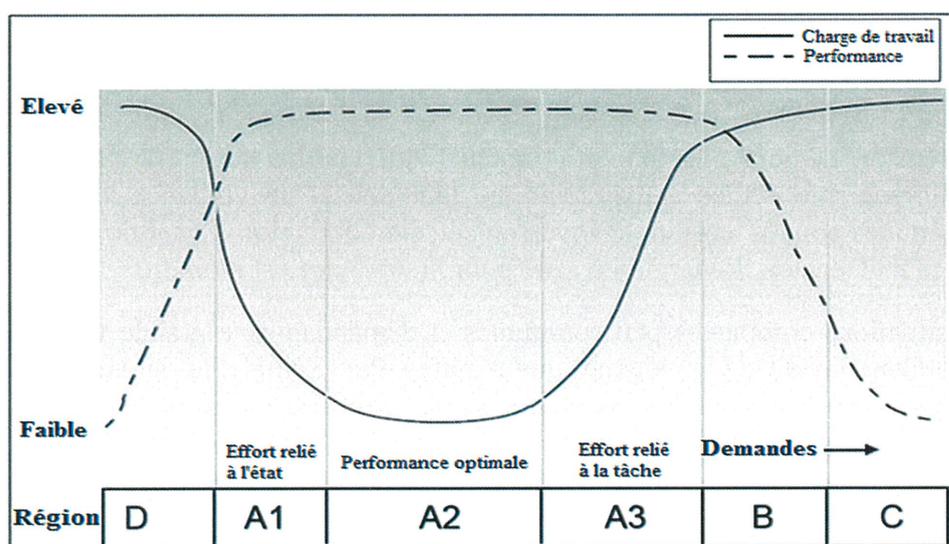


Figure 1. Performances et charge de travail en fonction des demandes.

Ainsi, en région A, l'effort investi permet de maintenir de bonnes performances. Dans ces situations moyennement complexes, une certaine élasticité dans la disponibilité des ressources permet probablement d'augmenter leur mobilisation malgré l'augmentation de la charge de travail (Kahneman, 1973). De plus, des stratégies compensatoires peuvent être mises en place dans le but de réduire le niveau de charge et de maintenir de bonnes performances. Par exemple, les conducteurs peuvent réduire leur vitesse pour avoir le temps de traiter l'ensemble des informations nécessaires à leur déplacement. Cette stratégie s'avère efficace car elle n'entraîne pas de détérioration des performances (Cnossen, Rothengatter, & Meijman, 2000), voire même une amélioration des performances malgré la hausse de la charge (Brookhuis, De Vries, & De Waard, 1991 ; De Waard, Van der Hulst, & Brookhuis, 1999).

Les régions D et C représentent une surcharge de travail : la charge de travail est évaluée comme trop élevée concernant l'effort à fournir et entraînant une dégradation des performances. En région D, la difficulté de la tâche est trop importante pour que l'individu puisse fournir un effort suffisant pour la réaliser. En région C, les demandes de la tâche sont

trop élevées et toutes les informations ne peuvent pas être prises en considération simultanément (Kahneman, 1973 ; Posner, 1978).

3.3. Etats internes modulant la surcharge

D'après le modèle d'activation de Thayer (1986), l'individu se situe sur un continuum d'énergie avec une activation physiologique allant de l'excitation au sommeil profond en fonction des rythmes circadiens, de l'activité cognitive, de l'exercice physique et de la valence affective. L'activation générale se réfère ainsi à la libération d'énergie de l'organisme et constitue l'état interne d'un individu.

La vigilance subjective correspond au message entre le système circadien et la part de conscience de l'individu. Ce dernier peut ainsi percevoir différents états de vigilance qui varient le long d'un continuum allant du sommeil aux états de veille active, en passant par des états de veille diffuse et de veille attentive¹.

Dans le modèle de Thayer, la tension représente la composante physiologique de l'anxiété et présente un lien étroit avec la vigilance. Lors de la réalisation d'une tâche moyennement demandeuse, la tension et la vigilance augmentent (corrélation positive), avec un niveau d'activation générale relativement moyen. Cependant, lorsque les demandes de la tâche sont élevées et exigent une forte libération d'énergie générale, la corrélation entre la vigilance et la tension devient négative. En fonction du type de tâches et des individus, l'activation de l'organisme dédiée à maintenir un haut niveau de vigilance laisse peu de ressources énergétiques pour la tension. Et inversement, si la libération d'énergie est déployée pour un haut niveau de tension, l'énergie investie pour la vigilance est moindre.

Certaines situations complexes peu communes et demandant une grande flexibilité du comportement seraient davantage anxiogènes que d'autres. Par exemple, les situations avec de mauvaises conditions climatiques ainsi que celles comprenant des interactions avec d'autres conducteurs provoquent une hausse subjective d'anxiété (Hill & Boyle, 2007). Les situations complexes deviennent anxiogènes à partir du moment où l'individu les évalue comme dépassant ses ressources, i.e. ses capacités à y faire face. Un haut niveau d'anxiété peut alors augmenter le nombre d'accidents sur la route (Dula, Adams, Miesner, & Leonard, 2010), notamment chez les jeunes conducteurs (Sobel & Underhill, 1976). En résumé, les situations fortement anxiogènes augmentent le niveau subjectif d'anxiété malgré la mise en place de stratégies compensatoires. Un faible niveau d'anxiété est favorable à l'amélioration des performances (Courbe en U inversé de Yerkes & Dodson, 1908). À l'inverse, un niveau très élevé d'anxiété détériore les performances de conduite réelles ou estimées. Il est important de noter qu'il existerait une relation bidirectionnelle entre l'anxiété et la charge de travail. Les théories révèlent en effet que l'anxiété peut augmenter la charge de travail investie pour réussir la tâche, et à l'inverse, la charge de travail peut générer de l'anxiété avec des inquiétudes pour réussir la tâche.

Les liens entre la vigilance des conducteurs et la sécurité routière font depuis longtemps l'objet d'investigations qui offrent un faisceau convergent de connaissances incitant à attribuer à l'hypovigilance un rôle important dans les accidents routiers. Ainsi, les accidents qui se produisent pendant les périodes physiologiques de somnolence représenteraient 36,1 % des accidents mortels et 41,6 % de l'ensemble des accidents de la route (Philip et coll., 2001).

¹ Le concept de vigilance est à dissocier des concepts de fatigue et d'attention. En effet, la fatigue est particulièrement reliée à une tâche, qu'elle soit physique et reliée au travail musculaire, ou mentale et l'attention se différencie de la vigilance en étant définie comme une instance de contrôle et d'orientation de l'activité.

Par ailleurs, certaines tâches et situations environnementales sont plus à même que d'autres de modifier le niveau d'activation du conducteur. Une attention soutenue est en effet difficile à maintenir quand les conditions environnementales sont ennuyeuses ou simplement monotones alors que des tâches plus complexes, variables et courtes, ou un environnement plus riche pourraient provoquer la mise en œuvre de processus compensatoires à la baisse de vigilance (Shiffrin et Schneider, 1977 ; Meskali et coll., 2009). Par exemple, conduire peut devenir une activité quasi automatique après une longue période sur autoroute, notamment en cas de trafic fluide. Ce type d'automatisation de la tâche de conduite est également favorisé par des trajets nocturnes ou des trajets familiers au conducteur et, dans ces conditions d'environnement pauvre et répétitif, l'assoupissement peut survenir. À l'inverse, d'autres tâches relativement complexes, comme le suivi de véhicule ou la conduite en milieu urbain demandent une attention plus soutenue et dépendent d'un traitement de l'information plus contrôlé, moins susceptible d'entraîner une baisse d'activation et plus à même de susciter la mise en œuvre de mécanismes compensatoires (Chiron et coll., 2008).

Toutefois, d'après le modèle de courbe en U renversé d'Anseu et Timsit-Berthier (1987 ; in Hadj-Mabrouk, 2001), le niveau de performance augmente avec celui de la vigilance jusqu'à un optimum, au-delà de cet optimum l'augmentation de la vigilance entraîne au contraire une baisse de la performance (Cf. Figure 2). La loi de Yerkes-Dodson concernant le lien entre niveau de performance et niveau de vigilance (Wickens & Hollands, 2000) montre également qu'en fonction de la tâche à réaliser, un niveau trop bas ou trop haut de la vigilance peut être dommageable. L'excès de vigilance que représentent le stress ou l'hyperexcitation a un pouvoir de dégradation plus rapide sur les activités complexes que sur les activités les plus simples. Il y a donc un niveau optimal de vigilance pour chaque type de tâche réalisée et la dégradation de la performance peut être liée à de l'hypovigilance ou de l'hypervigilance.

La charge de travail est ainsi également en lien avec la vigilance. Une augmentation de cette charge entraîne en effet une hausse de la vigilance mais la tendance s'inverse lorsque les tâches difficiles et précises entraînent une surcharge (Anseu & Timsit-Berthier, 1987 ; in Hadj-Mabrouk, 2001), avec dans ce cas, une diminution de la vigilance (Brookhuis et coll., 2003 ; in Brookhuis & De Waard, 2010).

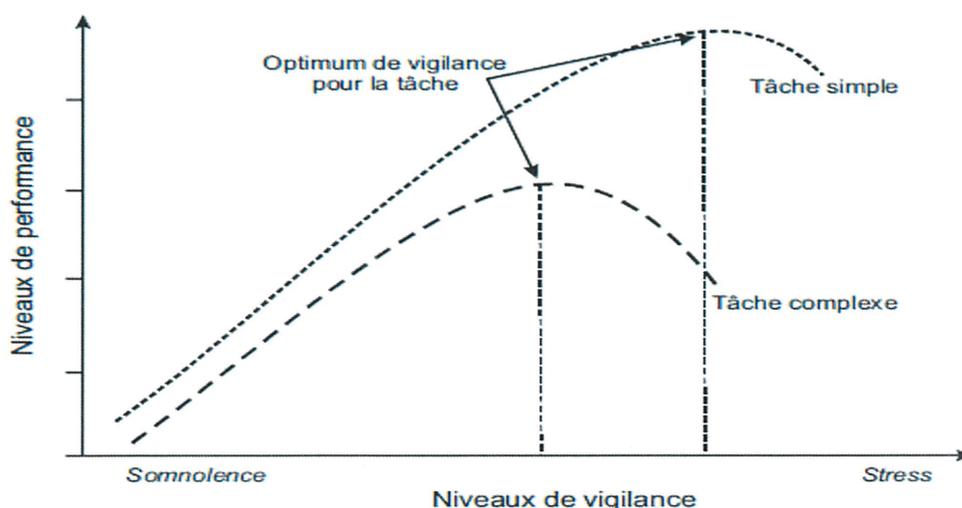
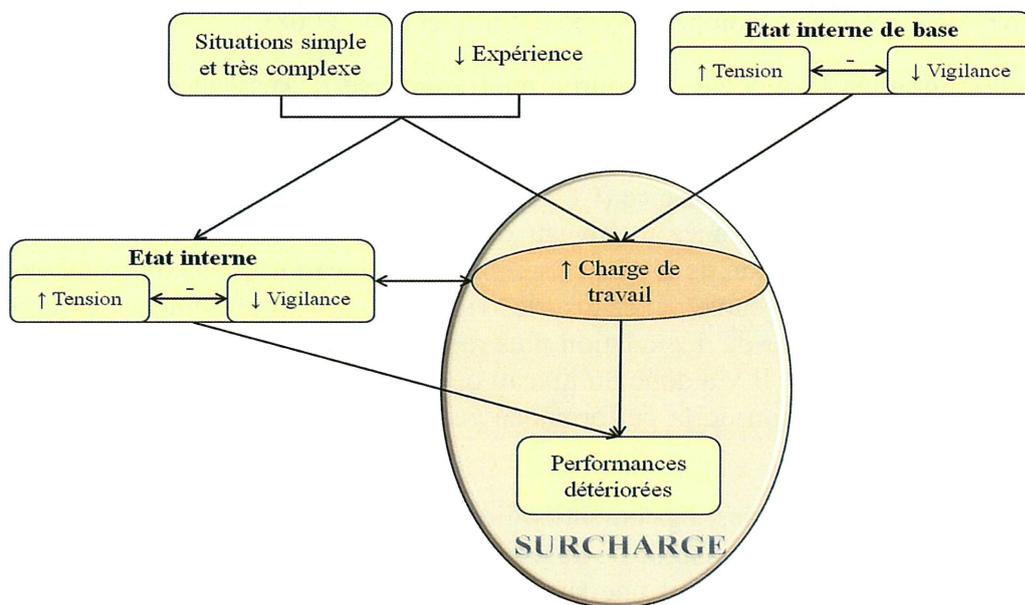


Figure 2. Relation entre vigilance et performance.

Enfin, les variations de vigilance affectent les performances de conduite différemment en fonction de l'expérience. Une étude a ainsi montré que les conducteurs novices avaient une forte hausse subjective de somnolence à 3h du matin, qui ralentissait la perception du danger, contrairement aux expérimentés dont la hausse mineure subjective de sommeil n'affectait pas les TR (Smith et al., 2009).

3.4. Problématique

L'état de la littérature permet de comprendre dans quelles mesures l'interaction entre les différents facteurs évoqués ci-dessus constitue une synergie accidentogène. À partir des théories et des études énoncées, le modèle suivant pourrait ainsi rendre compte des liens entre les facteurs accidentogènes chez les jeunes conducteurs (Figure 3).



Note: ↑ = hausse; ↓ = baisse; - = corrélation négative.

Figure 3. Liens entre différents facteurs accidentogènes: complexité de la situation, expérience, charge de travail, état interne et performances.

D'après le modèle d'activation de Thayer (1986), la corrélation entre les niveaux de tension et de vigilance qui composent l'état interne est respectivement positive ou négative pour une faible ou forte énergie libérée, cet état interne module la surcharge de travail.

En situations simples et très complexes (coûteuses en énergie), et notamment avec le manque d'expérience, un faible niveau de vigilance et un haut niveau d'anxiété (associé à la tension) provoquent des détériorations de performances de manière directe et indirecte via une hausse de la charge de travail. L'état interne caractérisé par un haut niveau d'activation (forte libération d'énergie) peut donc augmenter la charge de travail jusqu'à une détérioration de performance révélant une surcharge de travail. Réciproquement, la hausse de la charge, induite par les situations simples et très complexes et liée à un manque d'expérience, peut augmenter le niveau d'activation de l'état interne en diminuant la vigilance (Smit et al., 2004 ; Brookhuis et al., 2003 ; Falzon & Sauvagnac, 2004) et en générant de l'anxiété (Wells & Matthews, 1996 ; in Fairclough et al., 2006).

Enfin, un état interne de base libérant une importante énergie (corrélation négative entre tension et vigilance) devrait favoriser la hausse de la charge de travail jusqu'à ce que cette dernière entraîne des dégradations de performances, révélant ainsi une surcharge (Figure 3).

Une expérimentation a donc été menée afin de valider ce modèle de manière empirique. Elle portait sur l'influence de la complexité de la situation et de l'expérience de conduite sur les niveaux subjectifs et physiologiques de la charge de travail, de la tension et de la vigilance et sur les performances. Les liens entre ces facteurs ont été observés en absence vs. en présence d'évènements imprévus (traversée de la chaussée par un piéton).

4. Partie expérimentale

4.1. Les participants

Trente-deux jeunes conducteurs (20 hommes et 12 femmes) étaient répartis en deux groupes en fonction de leur expérience de conduite : 16 conducteurs novices âgés de 18 ans ($M = 18$, $SD = 0$) ayant obtenu leur permis de conduire dans les deux derniers mois avec un Apprentissage Traditionnel (AT), et 16 conducteurs âgés de 21 ans ($M = 21$, $SD = 0$) arrivant à plus ou moins 3 mois de la Fin des 3 ans de Permis Probatoire (FinPB). Les participants ne devaient présenter aucun problème de santé qui puisse interférer avec les données physiologiques étudiées. Chaque participant signait un formulaire de consentement libre et éclairé et recevait une gratification de 60 € pour sa participation à l'expérience. Le protocole expérimental a été approuvé par le Comité d'Éthique et de Recherche (CERB) de l'IFSTTAR, ainsi que par le Comité de Protection des Personnes (CPP) Sud Méditerranée I.

Avant l'expérience proprement dite, les participants avaient un entraînement qui leur permettait de se familiariser avec les commandes du simulateur.

4.2. Protocole expérimental

L'expérience répond au plan expérimental suivant : $S16 < G2 > * E3$

G2 : deux groupes de participants (voir ci-dessus).

S16 : 16 participants par groupe

E3 : 3 scénarii (complexité simple, moyenne et forte ; Figure 4). Ces scénarii impliquent une charge de travail plus ou moins élevée et ont été développés afin d'établir les relations entre charge de travail objective, charge de travail perçue, niveaux objectifs de tension et de vigilance, tension et vigilance perçues. L'ordre de passation des scénarii était contrebalancé afin d'éviter un effet d'ordre.

Complexité simple : ligne droite



Complexité moyenne : courbes de 600 m de long et de 300 m de rayon, séparées par des sections de ligne droite



Complexité forte : 2 fois plus de courbes que dans le scénario de complexité moyenne, courbes de 300 m de long et de 120 m de rayon séparées par des sections de ligne droite, trafic routier venant en sens inverse.



Figure 4. Les différents scénarii utilisés dans l'expérience

Chaque scénario inclut des situations accidentogènes inspirées des Études Détaillées d'Accidents (EDA, Salon-de-Provence). En effet, des piétons surgissent de la droite de la chaussée et traversent devant le véhicule du participant. Les piétons sont cachés derrière les arbres, ce qui permet de privilégier l'effet de surprise lié à leur apparition. Ils surgissent alors que le temps pour les éviter est réduit. Ce temps a été déterminé à partir de reconstitutions de données d'accidents réels (EDA) mais il permet d'éviter le choc avec le piéton. Il est constant dans tous les scénarios quelle que soit la vitesse des sujets. Il y a trois événements piétons dans chaque scénario, disposés aléatoirement sur le circuit. Le comportement des participants était enregistré en continu pendant la tâche de conduite.

L'échelle de Thayer (voir Annexe 1) a été remplie par les participants avant et après chaque circuit. Elle va permettre d'estimer les niveaux subjectifs de vigilance et de tension.

Le NASA-TLX a été adapté à l'expérimentation, légèrement variable pour chaque scénario (voir Annexe 2) et a été rempli après chaque scénario. Il permet d'estimer le niveau subjectif de charge de travail.

Les mesures de vigilance objective (EEG), de charge de travail (rythme cardiaque) et de tension (réponse électrodermale) ont été mesurées à l'aide d'un appareil BIOPAC (voir Figure 5).

Les variables dépendantes recueillies sont donc les suivantes : scores aux échelles d'évaluation subjective (Thayer et NASA-TLX), mesures objectives de vigilance (EEG), de charge de travail (fréquence cardiaque) et de tension (réponse électrodermale), mesures objectives de conduite (vitesse moyenne, variations de vitesse, position latérale moyenne, variations de position latérale, nombre d'accidents avec les piétons, temps de réponse et stratégies d'évitement mises en œuvre pour éviter le piéton : freinage, évitement par déport latéral et combinaison freinage et déport).



Figure 5. Participant appareillé pour participer à l'expérience.

4.3. Analyses statistiques

Durant les portions sans piéton, les données physiologiques étaient analysées en prenant en compte le différentiel de fréquence cardiaque moyenne (charge de travail objective), d'activité électrodermale moyenne (tension) et du ratio EEG («(alpha + theta)/beta», vigilance objective) entre les périodes de repos et d'activité. Durant les portions avec piétons, les données physiologiques prises en compte étaient le différentiel de fréquence cardiaque moyenne (charge de travail objective), l'amplitude des pics de réponse électrodermale (tension objective) et le différentiel du ratio EEG (vigilance objective).

Pour les portions sans piétons et celles avec piétons, une analyse de l'effet simple de l'expérience sur chacune des variables dépendantes a été effectuée, au moyen de t de Student pour groupes indépendants.

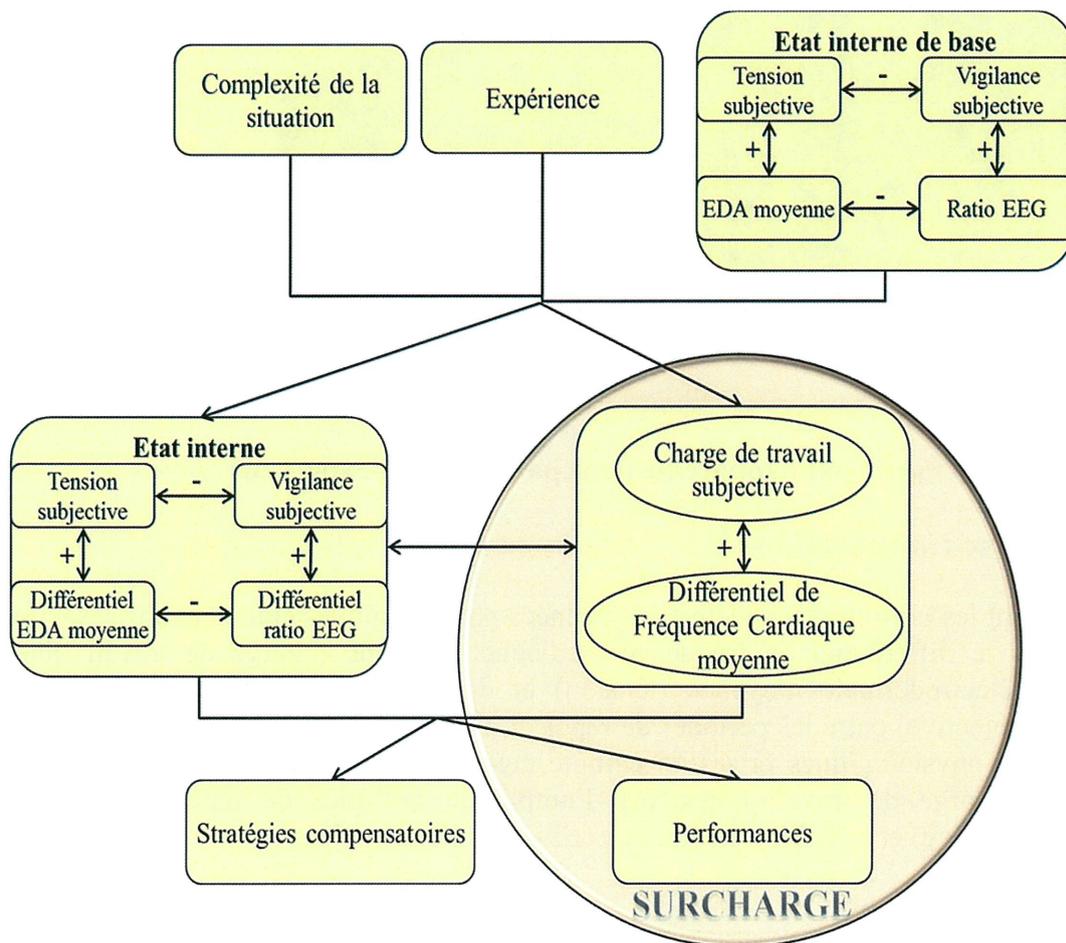
L'ensemble des effets indirects possibles a tout d'abord été testé avec le test de Sobel. Ensuite, une analyse de régression polynomiale de second ordre (pas à pas descendante) sur des données standardisées a été menée en enlevant l'effet simple de l'expérience, et tout en préservant les effets d'interaction entre l'expérience et les autres variables indépendantes. La

part de variance de l'effet simple de l'expérience ne se reflète donc pas dans l'analyse de régression polynomiale, mais son impact est tout de même en partie appréhendé avec les effets d'interactions. L'ensemble des résultats n'est pas détaillé ici, les effets simples significatifs ne sont pas présentés lorsqu'ils apparaissent en interaction avec la situation, l'expérience ou encore les stratégies adoptées par les conducteurs pour éviter les piétons (variables catégorielles), ou lorsqu'ils apparaissent en interaction avec ces variables catégorielles sans pour autant avoir d'effet sur la variable dépendante en fonction des modalités de la variable catégorielle. Les analyses post-hoc étaient réalisées avec des t de Student pour groupes indépendants pour des comparaisons par paires, et avec des régressions linéaires simples pour l'effet d'une variable sur une autre dans chaque condition.

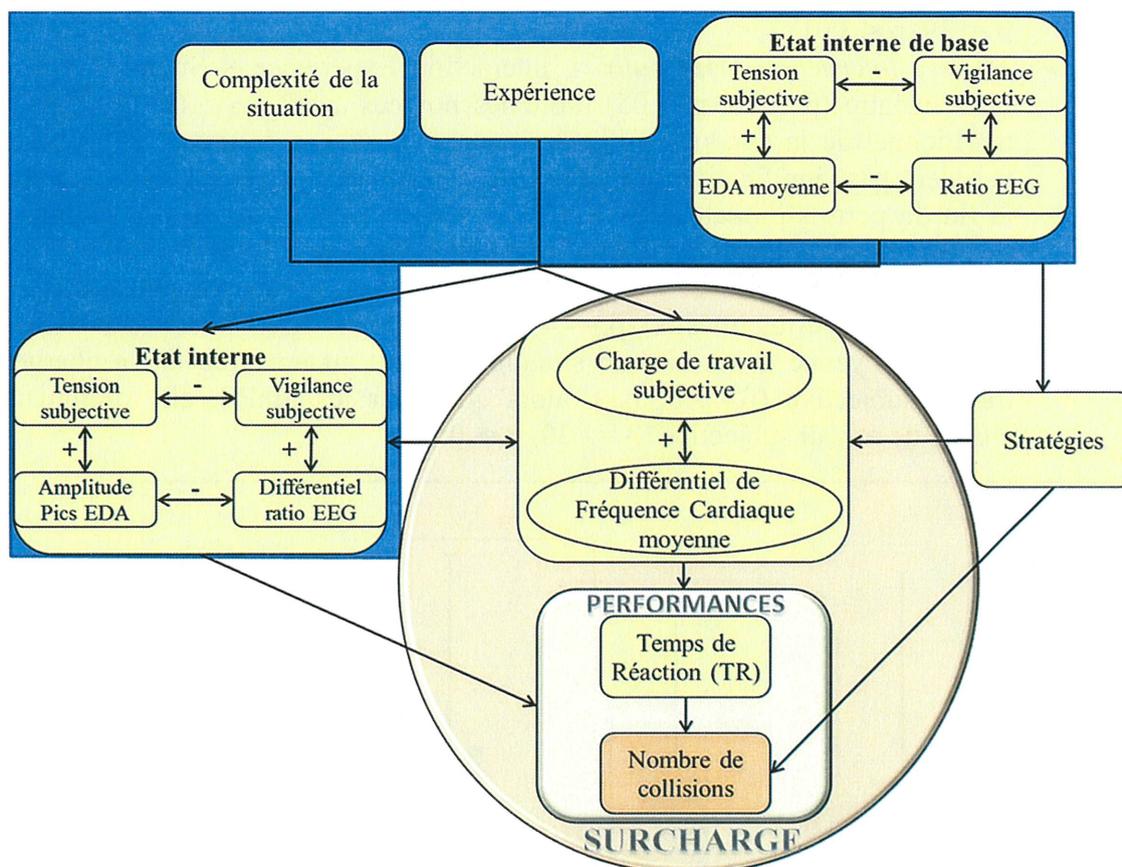
Afin d'identifier le seuil de surcharge à la fois en fonction de l'expérience et de la situation, des analyses complémentaires ont été menées. Ainsi, des régressions simples de l'effet de la charge de travail subjective et du différentiel de fréquence cardiaque moyenne ont été réalisées sur les TR et le nombre de collisions, pour chaque groupe dans chaque situation.

La significativité statistique de l'ensemble des analyses était fixée à $p < .05$.

Variables analysées dans les portions sans piétons



Variables analysées dans les portions avec piétons



4.4. Résultats

4.4.1. Portions sans piétons

Charge de travail globale attribuée aux portions sans piétons

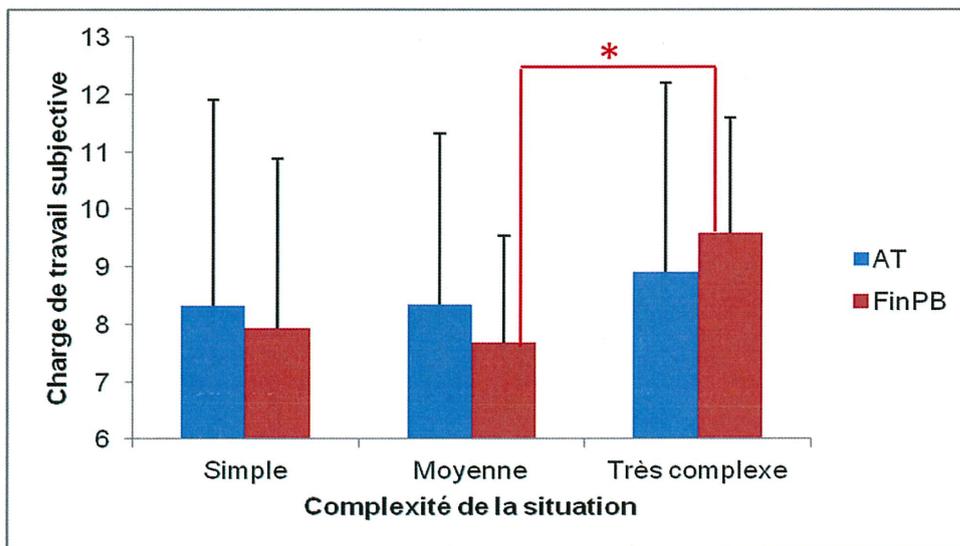
Données subjectives

Test de Sobel. La tension subjective avant chaque situation influençait la charge de travail subjective via la tension subjective après chaque situation ($z = 3.30, p < .001$). En effet, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .60, p < .001$), qui à son tour provoquait un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .44, p < .001$).

T de Student. L'effet simple de l'expérience sur la charge de travail subjective était non significative ($t(94) = .22, n.s$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de charge de travail subjective étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 26.50 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Effet simple.* La hausse de la tension subjective après chaque situation augmentait significativement la charge de travail subjective (effet linéaire : $\beta = .39, p < .001$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire ($\beta = .20, p < .05$). Pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel de la conduite (AT), les scores de charge de travail subjective ne variaient pas significativement entre les trois situations. Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire (FinPB), les scores étaient plus élevés en situation très complexe qu'en situation moyennement complexe (Figure 6). L'interaction Expérience \times Activité électrodermale moyenne avant avait également un effet linéaire ($\beta = -.41, p < .05$). En effet, pour les novices, la tension moyenne avant chaque situation n'avait aucun effet sur la charge de travail subjective ($\beta = .08, n.s$), alors que pour les FinPB, elle diminuait la charge de travail subjective ($\beta = -.30, p < .05$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 6. Charge de travail subjective en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

Données physiologiques : Différentiel de Fréquence Cardiaque moyenne

Test de Sobel. Aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur le différentiel de fréquence cardiaque.

T de Student. L'expérience avait un effet significatif sur le différentiel de fréquence cardiaque ($t(94) = 3.66, p < .001$), avec une charge de travail plus élevée pour les novices ($M = 4.81, SD = 8.52$) que pour les conducteurs FinPB ($M = -1.12, SD = 7.29$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens du différentiel de la fréquence cardiaque étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 41.65 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Effets simples principaux.* Une tension subjective élevée avant chaque situation augmentait la tension objective (différentiel de fréquence cardiaque) avec un effet linéaire ($\beta = .60, p < .001$), et la diminuait avec un effet non linéaire ($\beta = -.32, p < .05$). À l'inverse, quand la tension subjective après chaque situation était élevée la tension objective était diminuée avec un effet linéaire ($\beta = -.61, p < .01$), et augmentée avec un effet non linéaire ($\beta = 1.81, p < .001$).
Une tension objective élevée avant chaque situation augmentait la charge de travail (différentiel de fréquence cardiaque) avec un effet linéaire ($\beta = .30, p < .001$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.20, p < .05$). Pour les FinPB, la hausse de charge objective était plus élevée en situation simple qu'en situation très complexe avec un effet tendanciel ($t(30) = 2.00, p = .05$; Tableau 1).

Tableau 1. Différentiel de fréquence cardiaque moyenne (charge de travail objective) en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple M (SD)	Moyenne M (SD)	Très complexe M (SD)
AT	3.12 (7.92)	4.10 (6.72)	7.20 (10.49)
FinPB	-0.20 (5.09)	.89 (9.67)	-4.04 (5.72)

L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après la passation avait un effet linéaire significatif ($\beta = .52, p < .001$). Pour les novices (AT), une vigilance subjective élevée après chaque situation diminuait la charge de travail objective ($\beta = -.29, p < .05$), pour les FinPB, elle l'augmentait ($\beta = .29, p < .05$).

L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .51, p < .001$). En situation complexe, une vigilance objective élevée avant chaque situation augmentait la charge de travail objective ($\beta = .40, p < .05$).

Corrélation entre données subjectives et physiologique. La charge de travail subjective et la charge de travail objective n'étaient pas significativement corrélées ($r = -.03, n.s$).

Tension après chaque situation

Données subjectives

Test de Sobel. Aucun facteur étudié n'avait d'effet significatif indirect sur la tension subjective après chaque situation.

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la tension subjective estimée après chaque situation ($t(94) = 1.69, n.s$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de la tension subjective après chaque situation étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 48.19 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Effets simples principaux.* Une tension subjective et une charge de travail subjective avant chaque situation élevées augmentaient la tension subjective après chaque situation (effets linéaires ; respectivement $\beta = .48, p < .001$ et $\beta = .32, p < .001$).

- *Effets d'interaction principaux.* Aucun effet d'interaction entre les variables catégorielles et les variables continues n'était observé.

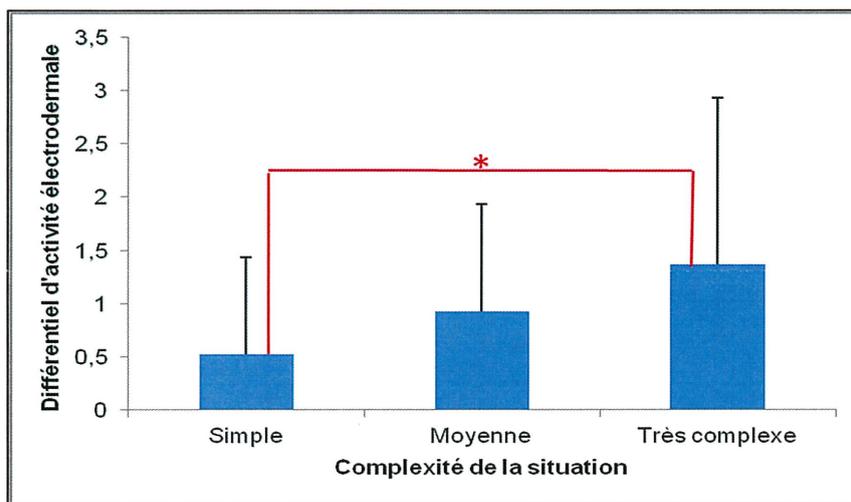
Données physiologiques : Différentiel de l'Activité ElectroDermale (EDA) moyenne

Test de Sobel. Aucun des facteurs étudiés n'avait d'effet significatif indirect sur le différentiel de l'activité électrodermale.

T de Student. L'expérience avait un effet significatif sur la tension objective avant chaque situation ($t(94) = 3.36, p < .001$), avec une tension plus élevée pour les novices ($M = 1.34, SD = 1.45$) que pour les FinPB ($M = .54, SD = .79$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens du différentiel d'activité électrodermale après chaque situation étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 48.08 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Effets simples principaux.* La hausse de complexité de la situation augmentait la tension objective (effet linéaire : $\beta = .36, p < .001$), plus élevée en situation très complexe qu'en situation simple (Figure 7). Une tension subjective élevée avant chaque situation augmentait la tension objective (effet linéaire ; $\beta = .25, p < .05$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque moyenne avait un effet linéaire et non linéaire (respectivement : $\beta = .36, p < .001$ et $\beta = 1.23, p < .001$). En situations moyennement complexe et très complexe, une charge de travail objective élevée était associée à une tension objective faible (effets non linéaires, respectivement $\beta = -.41, p < .05$ et $\beta = -.57, p < .05$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 7. Différentiel d'activité électrodermale (tension objective) en fonction de la complexité de la situation.

Corrélation entre données subjectives et physiologiques. Quand la tension subjective après chaque situation augmentait, la tension objective augmentait ($r = .28, p < .01$).

Vigilance après chaque situation

Données subjectives

Test de Sobel. Aucun des facteurs étudiés n'avait d'effet indirect sur la vigilance subjective après chaque situation.

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la vigilance subjective après chaque situation ($t(94) = -.71$, n.s).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de la vigilance subjective après chaque situation étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 62.47 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Effets simples principaux.* Une vigilance subjective élevée avant chaque situation entraînait une vigilance subjective également élevée après chaque situation (effet linéaire ; $\beta = .55$, $p < .001$).
La hausse de charge de travail subjective diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = -.14$, $p < .05$) et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = .43$, $p < .01$).
La hausse de charge de travail objective diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -.55$, $p < .001$).
Une vigilance objective élevée avant chaque situation diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -.22$, $p < .05$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet significatif linéaire ($\beta = -.21$, $p < .01$). Après chaque situation, le niveau subjectif de vigilance des novices (AT) était plus élevé en situation très complexe qu'en situation simple (Tableau 2).

Tableau 2. Vigilance subjective après chaque situation en fonction de l'expérience.

	Simple <i>M(SD)</i>	Moyenne <i>M(SD)</i>	Très complexe <i>M(SD)</i>
AT	.89 (.60)	1.18 (.78)	1.60 (1.08)
FinPB	1.26 (.70)	1.39 (.80)	1.36 (.54)

Données physiologiques : Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta

Test de Sobel. Aucun effet indirect des facteurs étudiés sur le différentiel du ratio EEG.

T de Student. L'expérience avait un effet sur le différentiel du ratio EEG ($t(94) = 2.20$, $p < .05$), avec une vigilance objective plus élevée pour les novices ($M = 12.70$, $SD = 25.76$) que pour les FinPB ($M = -12.39$, $SD = 74.64$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens du Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta après chaque situation étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans

ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 11.33 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Aucun effet simple principal.*
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience × Situation avait un effet linéaire ($\beta = .20$, $p < .05$). Pour les FinPB, la vigilance objective était plus élevée en situation moyennement complexe qu'en situation simple (effet tendanciel : $t(30) = -1.71$, $p = .09$; Tableau 3).
L'interaction Situation × Ratio EEG avant avait un effet linéaire ($\beta = -.21$, $p < .05$). Une vigilance objective élevée avant chaque situation augmentait la vigilance objective uniquement en situation très complexe ($\beta = .47$, $p < .01$).

Tableau 3. Différentiel du ratio EEG en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple M (SD)	Moyenne M (SD)	Très complexe M (SD)
AT	15.46 (27.72)	13.44 (32.86)	9.21 (14.47)
FinPB	-47.29 (123.88)	6.05 (11.06)	4.06 (5.94)

Corrélation entre données subjectives et physiologiques. La vigilance objective avant chaque situation et la vigilance subjective après chaque situation n'étaient pas significativement corrélées ($r = -.02$, n.s).

Stratégies compensatoires : vitesse moyenne (en km/h)

Test de Sobel. Aucun effet indirect des facteurs étudiés sur la vitesse moyenne.

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet sur la vitesse moyenne ($t(94) = 1.15$, n.s).

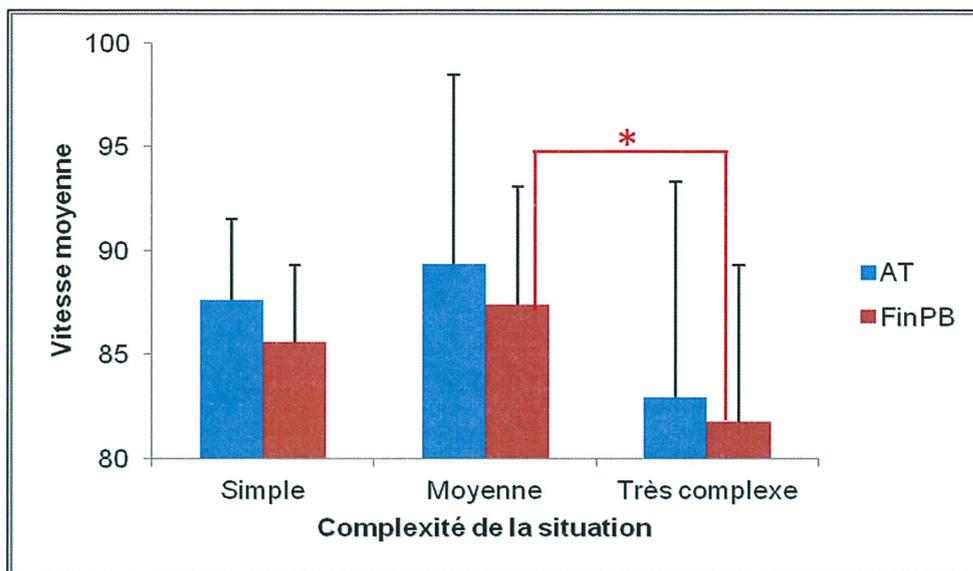
Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de la vitesse étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) × 1 (Tension subjective avant) × 1 (Vigilance subjective avant) × 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) × 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) × 1 (Tension subjective après) × 1 (Vigilance subjective après) × 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) × 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) × 1 (Charge de travail subjective) × 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 70.40 % de la variance de la charge de travail subjective.

Effets simples principaux. La vitesse moyenne était déterminée par la vigilance subjective après chaque situation (quand la vigilance subjective après était élevée, augmentation de la vitesse moyenne avec un effet linéaire, $\beta = .62$, $p < .001$; et diminution avec un effet non linéaire, $\beta = -.64$, $p < .001$), la tension objective avant chaque situation, la charge de travail objective et subjective (augmentation de la vitesse moyenne avec un effet linéaire quand ces niveaux sont élevés, respectivement : $\beta = .43$, $p < .001$; $\beta = .29$, $p < .01$ et $\beta = .45$, $p < .001$) et la charge objective qui augmentait la vitesse moyenne avec un effet non linéaire lorsqu'elle était élevée ($\beta = 1.30$, $p < .001$).

Effets d'interaction principaux. L'interaction Expérience × Situation avait un effet linéaire ($\beta = -.17$, $p < .05$). La vitesse moyenne des FinPB était plus faible en situation très complexe qu'en situation moyennement complexe (Figure 8).

L'interaction Expérience × Tension subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = -.24$, $p < .05$). La tension subjective élevée des FinPB avant chaque situation augmentait la vitesse moyenne ($\beta = .35$, $p < .05$).

L'interaction Situation × Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .26$, $p < .001$). En situation moyennement complexe uniquement, une tension subjective élevée était associée à une vitesse moyenne plus importante ($\beta = .39$, $p < .05$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 8. Vitesse moyenne en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

L'interaction Situation × Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = .73$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -1.15$, $p < .001$). En situation simple, une vigilance objective élevée avant chaque situation augmentait la vitesse moyenne (effet non linéaire ; $\beta = 1.68$, $p < .05$).

Performances de conduite : écart-type de vitesse

Test de Sobel. Les facteurs étudiés n'avaient pas d'effet indirect sur l'écart-type de vitesse.

T de Student. L'expérience n'influait pas l'écart-type de vitesse ($t(94) = .10$, n.s.).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de l'écart-type de la vitesse étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) × 1 (Tension subjective avant) × 1 (Vigilance subjective avant) × 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) × 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) × 1 (Tension subjective après) × 1 (Vigilance subjective après) × 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) × 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) × 1 (Charge de travail subjective) × 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 99.73 % de la variance de l'écart-type de vitesse.

- *Effets simples principaux.* La complexité de la situation avait un effet significatif sur l'écart-type de vitesse de manière linéaire ($\beta = -1.15$, $p < .001$), et non linéaire

($\beta = .62$, $p < .001$). Ainsi, l'écart-type de vitesse était plus élevé en situation simple qu'en situations moyennement complexe et très complexe (Figure 9).

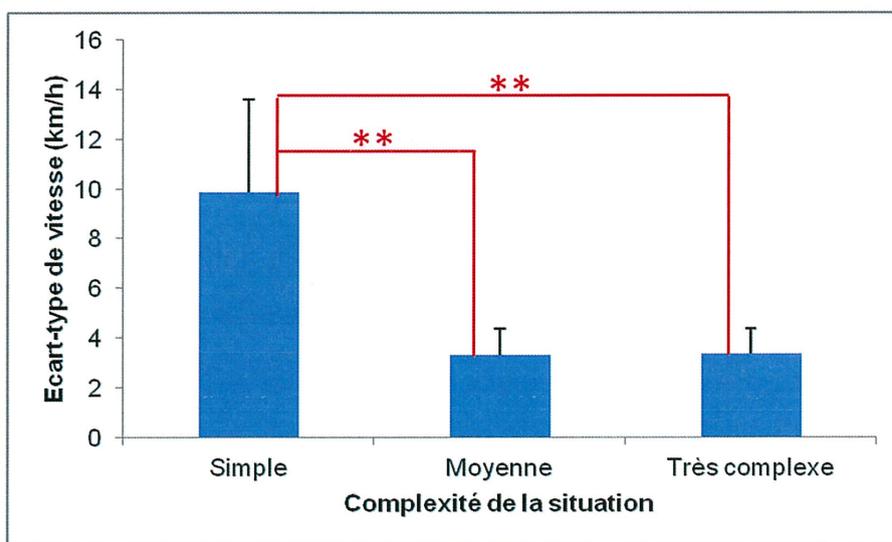
Une vigilance subjective élevée avant chaque situation déterminait également l'écart-type de vitesse avec des effets linéaire ($\beta = -.69$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -1.06$, $p < .001$).

Cela diminuait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -.22$, $p < .001$), et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = 1.24$, $p < .001$).

Une tension subjective élevée après chaque situation augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = 1.46$, $p < .001$).

Une vigilance objective élevée avant chaque situation augmentait l'écart-type de vitesse avec des effets linéaire ($\beta = .12$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = .69$, $p < .001$).

Enfin, lorsque la vigilance objective mesurée au cours de la passation était élevée, cela réduisait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = -2.27$, $p < .001$) et l'augmentait avec un effet non linéaire ($\beta = 20.58$, $p < .001$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 9. Ecart-type de vitesse en fonction de la complexité de la situation.

- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Différentiel d'activité électrodermale avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.20$, $p < .001$). Le niveau de tension plus élevé des novices diminuait l'écart-type de vitesse (effet linéaire ; $\beta = -.30$, $p < .05$).

L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = -.07$, $p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.25$, $p < .01$). En situation très complexe uniquement, une tension subjective élevée avant chaque situation augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet linéaire ($\beta = .36$, $p < .05$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire ($\beta = -.44$, $p < .001$). En situation très complexe, une vigilance subjective élevée après chaque situation diminuait l'écart-type de vitesse (effet non linéaire, $\beta = -2.50$, $p < .01$).

L'interaction Situation \times Différentiel d'activité électrodermale avait un effet linéaire ($\beta = -.08$, $p < .01$). En situation simple, la charge de travail objective augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = 1.48$, $p < .01$).

L'interaction Situation × Charge de travail subjective avait des effets linéaire ($\beta = .64$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = .12$, $p < .01$). En situation simple, la hausse de la charge de travail subjective diminuait l'écart-type de vitesse (effet linéaire, $\beta = -.36$, $p < .05$). L'interaction Situation × Différentiel de fréquence cardiaque avait des effets linéaire ($\beta = .16$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -1.01$, $p < .001$). En situation simple uniquement, la hausse de charge objective augmentait l'écart-type de vitesse avec un effet non linéaire ($\beta = 1.18$, $p < .05$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

En fonction de la charge de travail subjective. En situation simple, la hausse de charge de travail subjective diminuait l'écart-type de vitesse des novices (effet linéaire ; $\beta = -.50$, $p < .05$), elle n'avait pas d'effet sur l'écart-type de vitesse des FinPB quelle que soit la situation.

En fonction du différentiel de fréquence cardiaque. La charge objective n'avait aucun effet sur l'écart-type de vitesse, quels que soient le groupe et la situation (Tableau 4).

Tableau 4. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur l'écart-type de vitesse en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple β	Moyenne β	Très complexe β
AT	-.13	-.11	-.31
FinPB	.46	-.04	-.43

Stratégies compensatoires : Position Latérale moyenne (en mm)

Test de Sobel. La charge de travail subjective était médiatrice de l'effet de la tension subjective après chaque situation sur la position latérale adoptée sur la voie de circulation ($z = 2.13$, $p < .05$). Un haut niveau de tension provoquait un haut niveau de charge de travail ($\beta = .39$, $p < .001$), qui entraînait une position latérale moyenne vers la gauche ($\beta = .27$, $p < .05$).

Par ailleurs, la tension subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet de la charge de travail subjective sur la position latérale moyenne ($z = -2.10$, $p < .05$). Ainsi, un haut niveau de charge entraînait un haut niveau de tension ($\beta = .39$, $p < .001$), qui provoquait ensuite une position latérale moyenne vers la gauche de la voie ($\beta = -.26$, $p < .05$).

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la position latérale moyenne ($t(94) = 1.57$, n.s).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de la Position Latérale étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) × 1 (Tension subjective avant) × 1 (Vigilance subjective avant) × 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) × 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) × 1 (Vigilance subjective après) × 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) × 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) × 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 65.20 % de la variance de la position latérale moyenne.

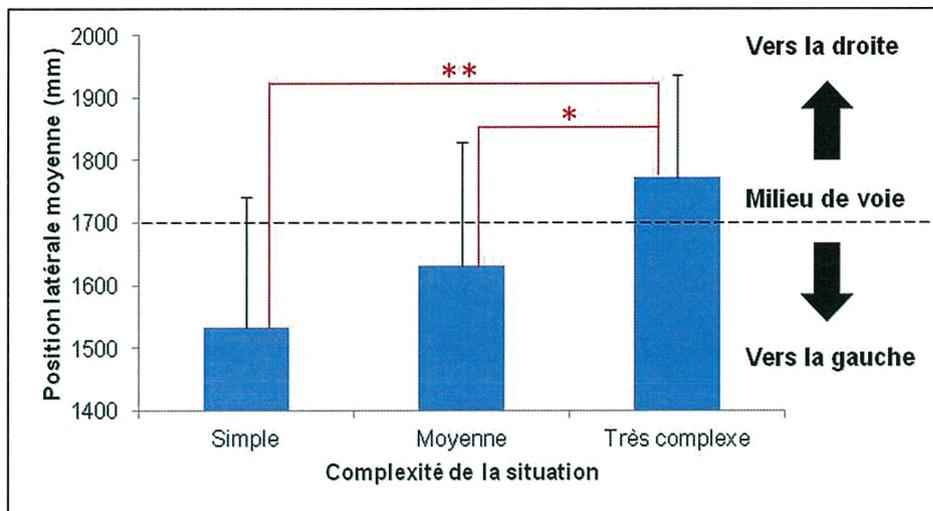
- *Effets simples principaux.* La hausse de complexité de la situation avait un effet linéaire sur la position latérale moyenne ($\beta = .75$, $p < .001$). En situation très

complexe, les conducteurs circulaient davantage vers la droite de la voie (augmentation de la position latérale) que dans les autres situations (Figure 10).

Une tension subjective élevée avant chaque situation augmentait la position latérale moyenne avec un effet linéaire ($\beta = .32, p < .01$), de même qu'une vigilance subjective élevée (effets linéaire : $\beta = .62, p < .001$ et non linéaire : $\beta = 1.37, p < .001$).

Une tension et vigilance objectives élevées diminuaient la position latérale moyenne (effets non linéaire ; respectivement : $\beta = -1.12, p < .001$ et $\beta = -10.80, p < .001$). À l'inverse, quand la charge de travail objective augmentait, une augmentation de la position latérale moyenne avec un effet non linéaire était observée ($\beta = .72, p < .01$).

- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire ($\beta = -.36, p < .001$). En situation simple uniquement, la hausse de charge de travail subjective augmentait la position latérale moyenne avec un effet non linéaire ($\beta = 2.14, p < .05$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 10. Position latérale moyenne en fonction de la complexité de la situation.

Performances de conduite : Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP)

Test de Sobel. La tension subjective après chaque situation avait un effet sur les SDLP via la charge de travail subjective ($z = 2.29, p < .05$). Ainsi, un niveau élevé de tension entraînait un niveau élevé de charge subjective ($\beta = .39, p < .001$), qui à son tour provoquait une augmentation des SDLP ($\beta = .30, p < .01$).

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet sur les SDLP ($t(94) = 1.22, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens des Déviations Standard de la Position Latérale (SDLP) étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Différentiel d'Activité Electrodermale moyenne) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 66.15 % de la variance des déviations standard de la position latérale.

- *Effets simples principaux.* Une tension avant chaque situation et une vigilance objective élevées diminuaient les SDLP avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = -.38, p < .01$ et $\beta = -4.04, p < .001$) et l'augmentaient avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = 4.30, p < .001$ et $\beta = 50.14, p < .001$). La hausse de vigilance après chaque situation augmentait les SDLP avec un effet non linéaire ($\beta = .58, p < .01$). La hausse de charge de travail subjective augmentait les SDLP avec des effets linéaire ($\beta = 1.10, p < .001$) et non linéaire ($\beta = 1.34, p < .001$). À l'inverse, la charge de travail objective les diminuait avec des effets linéaire ($\beta = -.41, p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.81, p < .01$).
- *Effets d'interaction principaux.* Les interactions Expérience \times Vigilance subjective avant et Expérience \times Ratio EEG avaient un effet linéaire significatif (respectivement $\beta = .45, p < .01$ et $\beta = -.29, p < .01$). Pour les FinPB, des niveaux élevés de vigilance subjective et objective avant chaque situation diminuaient les SDLP (respectivement $\beta = -.34, p < .05$ et $\beta = -.43, p < .05$). L'interaction Expérience \times Différentiel d'activité électrodermale avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.37, p < .01$). La hausse de tension objective des novices diminuait les SDLP avec un effet non linéaire ($\beta = -.72, p < .01$). L'interaction Situation \times Différentiel d'activité électrodermale avait des effets linéaire ($\beta = .50, p < .01$) et non linéaire ($\beta = 1.35, p < .001$). En situation très complexe, la hausse de tension objective diminuait les SDLP (effet non linéaire, $\beta = -.90, p < .05$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

- *En fonction de la charge de travail subjective.* La charge de travail subjective n'avait aucun effet sur les SDLP, quelles que soient l'expérience de conduite et la complexité de la situation (Tableau 5).

Tableau 5. Effet de la charge de travail subjective sur les SDLP en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple, β	Moyenne, β	Très complexe, β
AT	.26	.26	.22
FinPB	.17	.45	.13

- *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque.* Pour les novices (AT), la hausse de charge de travail objective diminuait les SDLP en situation simple (Tableau 6).

Tableau 6. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les SDLP en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple β	Moyenne β	Très complexe β
AT	-.58 *	-.22	-.32
FinPB	.25	-.03	-.37

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

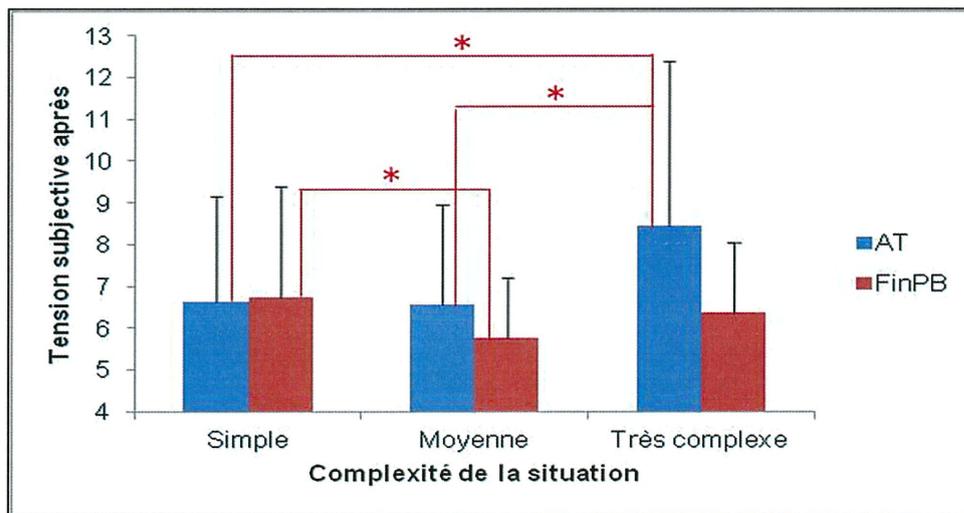
4.4.2. Portions avec piétons

Charge de travail attribuée aux 2e et 3e piétons

Données subjectives

Test de Sobel. La tension subjective après chaque situation était médiatrice de l'effet de l'expérience ($z = -2.54, p < .05$) et de la tension subjective avant chaque situation ($z = 3.96, p < .001$) sur la charge de travail subjective. En effet, un faible niveau d'expérience entraînait un niveau élevé de tension ($\beta = -.17, p < .01$). De plus, un niveau élevé de tension avant chaque situation entraînait un haut niveau de tension après chaque situation ($\beta = .60, p < .001$) qui à son tour provoquait un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .29, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Situation avait un effet sur la charge de travail subjective via la tension subjective après chaque situation ($z = -2.50, p < .05$). Pour les novices (AT) la tension était plus élevée en situation très complexe qu'en situations simple et moyennement complexes alors que pour les FinPB, elle était à l'inverse plus élevée en situation simple qu'en situation moyennement complexe (Figure 11). Un niveau élevé de tension provoquait ensuite un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .29, p < .001$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 11. Tension subjective après chaque situation en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

La situation avait un effet sur la charge de travail subjective via la vigilance subjective après chaque situation ($z = 2.26, p < .05$). Ainsi, plus le niveau de complexité de la situation était élevé, plus le niveau de vigilance augmentait ($\beta = .21, p < .001$). Un niveau élevé de vigilance provoquait alors un faible niveau de charge de travail subjective ($\beta = -.17, p < .01$).

La vigilance subjective avant chaque situation avait un effet sur la charge via la vigilance subjective après chaque situation ($z = -3.26, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un haut niveau de vigilance après chaque situation ($\beta = .55, p < .001$), qui provoquait ensuite un faible niveau de charge de travail subjective ($\beta = -.24, p < .001$).

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet significatif sur la charge de travail subjective ($t(286) = -.71, n.s.$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de charge de travail subjective étaient soumis à la régression polynomiale 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Stratégies d'évitement des piétons). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 47.80 % de la variance de la charge de travail subjective.

- *Effets simples principaux.* Un niveau élevé de tension objective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec des effets linéaire ($\beta = .23, p < .05$) et non linéaire ($\beta = .53, p < .001$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = -.16, p < .01$). Un niveau élevé de tension subjective des novices avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective (effet linéaire, $\beta = .28, p < .001$).
L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire ($\beta = -.16, p < .01$). La hausse de vigilance subjective des FinPB après chaque situation diminuait la charge ($\beta = -.29, p < .001$).
L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.36, p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective (effet linéaire, $\beta = .18, p < .05$), pour les FinPB, cela diminuait la charge (effet linéaire, $\beta = -.37, p < .001$).
L'interaction Expérience \times Pics EDA avait un effet linéaire ($\beta = .16, p < .01$). Pour les novices, la hausse d'amplitude des pics de réponse électrodermale (hausse de tension) augmentaient la charge de travail subjective (effet non linéaire, $\beta = .58, p < .05$).
L'interaction Expérience \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire ($\beta = 1.00, p < .001$). Pour les novices, la hausse de vigilance objective augmentait la charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .33, p < .001$).
L'interaction Situation \times Tension subjective avant avait un effet linéaire significatif ($\beta = .20, p < .01$). En situation moyennement complexe, un niveau élevé de tension subjective avant entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .26, p < .05$).
L'interaction Situation \times Tension subjective après avait des effets linéaire ($\beta = -.32, p < .001$) et non linéaire ($\beta = 1.13, p < .001$). En situation simple, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait la charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .36, p < .001$).
L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.28, p < .001$). En situation très complexe, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = -.31, p < .01$).
L'interaction Stratégies \times Ratio EEG avant avait un effet linéaire ($\beta = -.11, p < .01$). Pour la stratégie consistant à effectuer une déviation de position latérale pour éviter le piéton (écart), un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = -.76, p < .05$).

Données physiologiques : Différentiel de la Fréquence Cardiaque moyenne

Test de Sobel. Le temps de réponse du signal de fréquence cardiaque est trop long pour en isoler les données durant les portions sans piétons. Par conséquent, la fréquence cardiaque

moyenne a été analysée sur l'ensemble de la situation, comme pour les sections sans piétons, et aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur le différentiel de fréquence cardiaque.

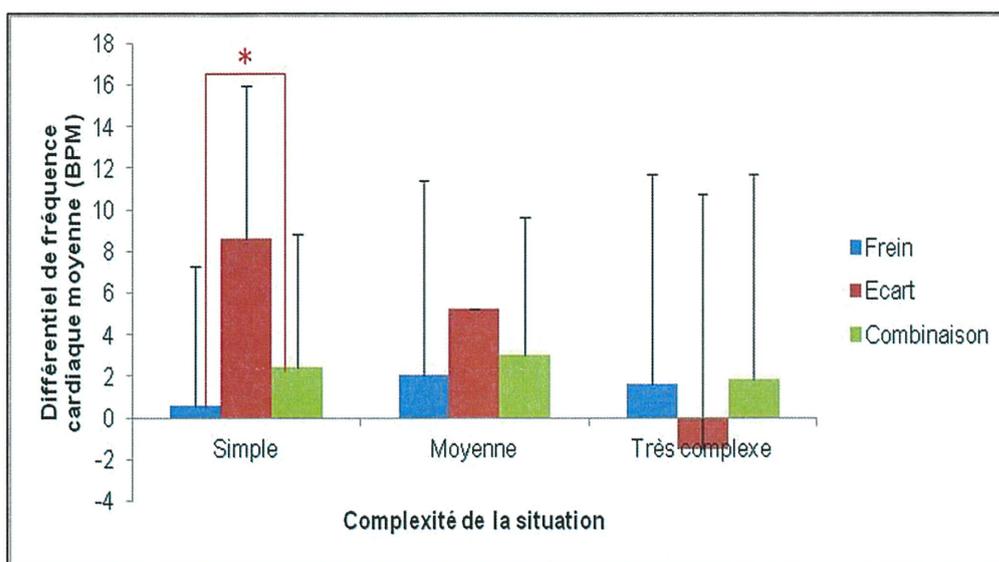
T de Student. L'expérience avait un effet significatif sur le niveau de charge de travail objectif ($t(94) = 3.66, p < .001$), plus élevé pour les novices que pour les FinPB.

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens du différentiel de la fréquence cardiaque étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Tension subjective après) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Stratégies d'évitement des piétons). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 65.43 % de la variance du différentiel de la fréquence cardiaque.

- *Effets simples principaux.* La hausse de tension subjective après chaque situation et la hausse de vigilance objective diminuaient la charge de travail objective avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = -.74, p < .001$ et $\beta = -1.50, p < .001$) et l'augmentaient avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = 1.81, p < .001$ et $\beta = 2.43, p < .01$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire ($\beta = -.15, p < .01$). La charge de travail objective des FinPB était plus élevée en situation simple qu'en situation très complexe ($t(30) = 2.00, p = .05$; Tableau 1). L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = -.18, p < .01$). Un niveau élevé de tension subjective des novices avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge objective avec un effet linéaire ($\beta = .19, p < .05$). L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = .15, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance des novices avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge objective (effet linéaire ; $\beta = -.35, p < .001$). L'interaction Expérience \times Vigilance subjective après avait un effet linéaire ($\beta = .24, p < .001$). La hausse de vigilance subjective des novices après chaque situation diminuait la charge objective ($\beta = -.29, p < .05$), elle l'augmentait pour les FinPB ($\beta = .29, p < .05$). L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = .25, p < .001$). Un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge avec un effet linéaire en situations simple ($\beta = -.39, p < .001$) et moyennement complexe ($\beta = -.27, p < .01$). L'interaction Situation \times Activité électrodermale avant avait des effets linéaire ($\beta = -.59, p < .001$) et non linéaire ($\beta = .23, p < .001$). Un niveau élevé de tension avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge avec des effets linéaires en situations simple ($\beta = .29, p < .01$) et très complexe ($\beta = .34, p < .001$). L'interaction Situation \times Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = -.15, p < .05$) et non linéaire ($\beta = .69, p < .001$). En situation très complexe, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation augmentait la charge objective ($\beta = .40, p < .05$). L'interaction Situation \times Pics EDA avait un effet linéaire ($\beta = .63, p < .001$). La hausse de tension objective augmentait la charge objective avec un effet linéaire en situation moyennement complexe ($\beta = .67, p < .05$). L'interaction Situation \times Stratégies avait un effet non linéaire ($\beta = -.14, p < .01$). En situation simple, la charge objective était plus élevée lors de la stratégie consistant à combiner un écart et un freinage que lors de celle consistant à freiner (Figure 12). L'interaction Stratégies \times Tension subjective avant avait un effet non linéaire ($\beta = -.28, p < .001$). En cas de freinage, un niveau élevé de tension subjective avant

chaque situation entraînait un niveau élevé de charge objective (effet linéaire, $\beta = .21$, $p < .01$). À l'inverse, lors d'un écart un niveau élevé de tension entraînait un faible niveau de charge (effet linéaire, $\beta = -.91$, $p < .01$).

L'interaction Stratégies \times Vigilance subjective avant avait un effet non linéaire ($\beta = .44$, $p < .001$). Pour un freinage, un niveau élevé de vigilance subjective avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge (effet linéaire, $\beta = -.21$, $p < .01$), pour un écart, il entraînait un niveau élevé de charge ($\beta = .80$, $p < .05$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 12. Différentiel de fréquence cardiaque en fonction de la complexité de la situation et de la stratégie d'évitement des piétons.

Les interactions Stratégies \times Activité électrodermale avant et Stratégies \times Pics EDA avaient un effet linéaire (respectivement $\beta = .10$, $p < .01$ et $\beta = -.13$, $p < .05$). Pour la combinaison freinage/écart, un niveau élevé de tension avant chaque situation ainsi que la hausse de tension objective entraînaient une hausse de charge de travail (effets linéaire ; respectivement $\beta = .26$, $p < .01$ et $\beta = .29$, $p < .01$).

Corrélation entre données subjectives et physiologiques. La charge de travail subjective et la charge de travail objective n'étaient pas corrélées ($r = -.03$, n.s).

Tension après chaque situation

Données subjectives

Test de Sobel. La tension subjective avant chaque situation avait un effet sur la tension subjective après chaque situation via la charge de travail subjective ($z = 2.11$, $p < .05$). Un haut niveau de tension avant chaque situation entraînait un haut niveau de charge ($\beta = .14$, $p < .05$), qui provoquait alors un haut niveau de tension après chaque situation ($\beta = .19$, $p < .001$).

L'interaction Expérience \times Tension subjective avant avait un effet sur la tension subjective après chaque situation via la charge de travail subjective ($z = -2.24$, $p < .05$). Un niveau élevé de tension entraînait un niveau élevé de charge uniquement pour les novices ($\beta = .28$,

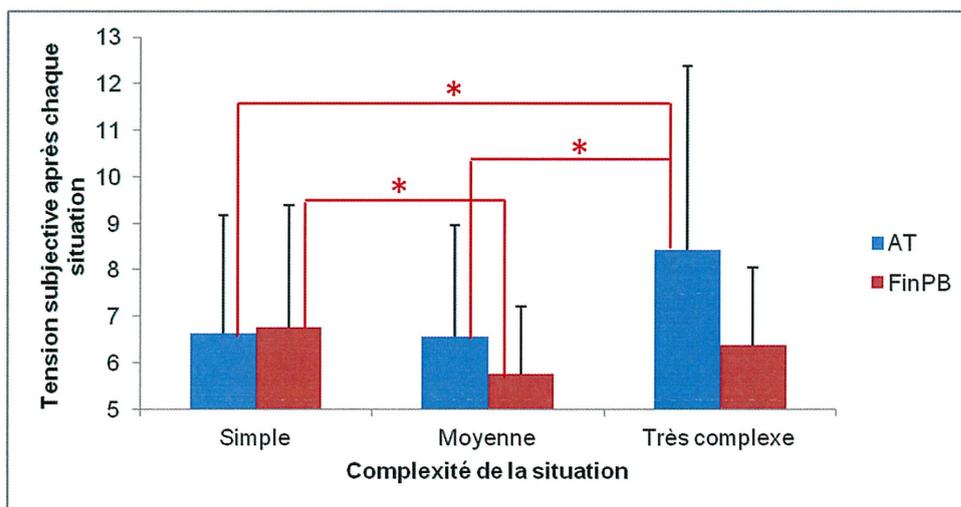
$p < .001$). Ensuite, un haut niveau de charge entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .27, p < .001$).

L'interaction Expérience \times Ratio EEG avant avait un effet sur la tension subjective après chaque situation via la charge de travail subjective ($z = -3.46, p < .001$). Ainsi, pour les novices, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective ($\beta = .18, p < .05$) alors qu'il entraînait un faible niveau de charge pour les FinPB ($\beta = -.37, p < .001$). À son tour, un haut niveau de charge entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation ($\beta = .32, p < .001$).

T de Student. L'expérience avait un effet significatif sur la tension subjective après chaque situation ($t(286) = 2.94, p < .01$), avec des scores plus élevés pour les novices ($M = 7.21, SD = 3.15$) que pour les FinPB ($M = 6.29, SD = 2.02$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de la tension subjective après chaque situation étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 60.70 % de la variance de la tension subjective.

- *Effets simples principaux.* Une vigilance élevée avant chaque situation diminuait la tension subjective après chaque situation (effet linéaire ; $\beta = -.19, p < .001$) et un niveau élevé de tension objective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de tension subjective après chaque situation (effet non linéaire ; $\beta = 1.01, p < .001$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 13. Tension subjective après chaque situation en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire ($\beta = -.12, p < .01$). La tension subjective des novices après chaque situation était plus élevée en situation très complexe qu'en situations simple et moyennement complexe alors que celle des FinPB étaient plus élevée en situation simple qu'en situation moyennement complexe (Figure 13).

L'interaction Expérience × Charge de travail subjective avait un effet linéaire ($\beta = -.41, p < .001$). La charge de travail subjective des novices augmentait la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .45, p < .001$).

L'interaction Situation × Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = -.18, p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.23, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance avant les deux situations les plus complexes entraînait un niveau élevé de tension subjective après (effets non linéaire ; respectivement : $\beta = .83, p < .05$ et $\beta = .80, p < .05$).

L'interaction Situation × Charge de travail subjective avait un effet linéaire ($\beta = -.11, p < .05$). En situations simple et très complexe, la hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective après chaque situation avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .36, p < .001$ et $\beta = .51, p < .01$).

L'interaction Situation × Différentiel de fréquence cardiaque avait un effet non linéaire significatif ($\beta = -.42, p < .01$). En situation simple, la hausse de charge de travail objective diminuait la tension subjective après chaque situation avec un effet non linéaire ($\beta = -.22, p < .05$).

Données physiologiques : Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale

Test de Sobel. La vigilance objective (ratio EEG) avant chaque situation avait un effet sur l'amplitude moyenne des pics de réponse électrodermale via la charge de travail objective ($z = 2.44, p < .05$). Un niveau élevé de vigilance objective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge objective ($\beta = .20, p < .001$), qui à son tour provoquait une tension objective élevée ($\beta = .20, p < .001$).

L'interaction Expérience × Vigilance subjective avant avait un effet sur l'amplitude moyenne des pics de la réponse électrodermale via la charge ($z = 2.10, p < .05$) et influençait le différentiel de fréquence cardiaque ($\beta = .19, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance subjective des novices avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge objective (effet linéaire ; $\beta = -.35, p < .001$). Un niveau élevé de charge objective provoquait une tension élevée ($\beta = .16, p < .01$).

T de Student. L'amplitude des pics de réponse électrodermale (tension objective) était plus élevée pour les novices que pour les FinPB ($t(286) = 5.37, p < .001$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de l'amplitude des pics de la réponse électrodermale étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) × 1 (Tension subjective avant) × 1 (Vigilance subjective avant) × 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) × 1 (Charge de travail subjective) × 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 80.99 % de la variance l'amplitude des pics de la réponse électrodermale.

➤ *Effets simples principaux.* La hausse de la complexité de la situation augmentait la tension objective avec un effet linéaire ($\beta = .17, p < .001$), et des amplitudes de pics plus élevées en situation très complexe qu'en situation simple.

Des niveaux élevés de tensions subjective et objective avant chaque situation ainsi que la hausse de charge de travail subjective entraînaient un niveau élevé de tension objective avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .11, p < .01$; $\beta = .81, p < .001$ et $\beta = -.08, p < .01$).

La hausse de charge de travail objective augmentait la tension objective (effets linéaire : $\beta = .08, p < .01$ et non linéaire : $\beta = .27, p < .01$).

➤ *Effets d'interaction principaux significatifs.* Les interactions Situation × Ratio EEG avant et Situation × Charge de travail subjective avaient un effet non linéaire

significatif (respectivement $\beta = -.13$, $p < .001$ et $\beta = .07$, $p < .01$). En situation simple, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation et une hausse de charge subjective entraînaient une faible tension (effet linéaire ; $\beta = -.25$, $p < .05$ et $\beta = -.25$, $p < .05$).

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque avait des effets linéaire ($\beta = .22$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.16$, $p < .01$). En situation très complexe, la hausse de charge diminuait l'amplitude des pics de réponse électrodermale (tension) avec un effet non linéaire ($\beta = -.55$, $p < .001$).

Corrélation entre données subjectives et physiologiques. La tension subjective après chaque situation était positivement corrélée à l'amplitude des pics de réponse électrodermale (tension objective) ($r = .15$, $p < .05$).

Vigilance après chaque situation

Données subjectives

Test de Sobel. L'interaction Expérience \times EEG avant chaque situation avait un effet sur la vigilance subjective après chaque situation via la charge de travail subjective ($z = 2.33$, $p < .05$). Pour les novices, un niveau élevé de vigilance avant chaque situation entraînait un niveau élevé de charge de travail subjective avec un effet linéaire ($\beta = .18$, $p < .05$) alors que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, elle entraînait un faible niveau de charge subjective ($\beta = -.37$, $p < .001$). Un niveau élevé de charge de travail subjective provoquait ensuite un faible niveau de vigilance subjective après chaque situation ($\beta = -.17$, $p < .01$).

T de Student. L'expérience n'avait pas d'effet sur la vigilance subjective après chaque situation ($t(286) = -1.24$, n.s).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens de la vigilance subjective après chaque situation étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 80.99 % de la variance de la vigilance subjective.

- *Effets simples principaux.* La hausse de complexité de la situation augmentait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = .17$, $p < .001$), ainsi que des scores plus faibles en situation simple qu'en situations moyennement complexe et très complexe (Figure 14).

Un niveau élevé de tension subjective et objective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire (respectivement : $\beta = .11$, $p < .01$ et $\beta = .81$, $p < .01$).

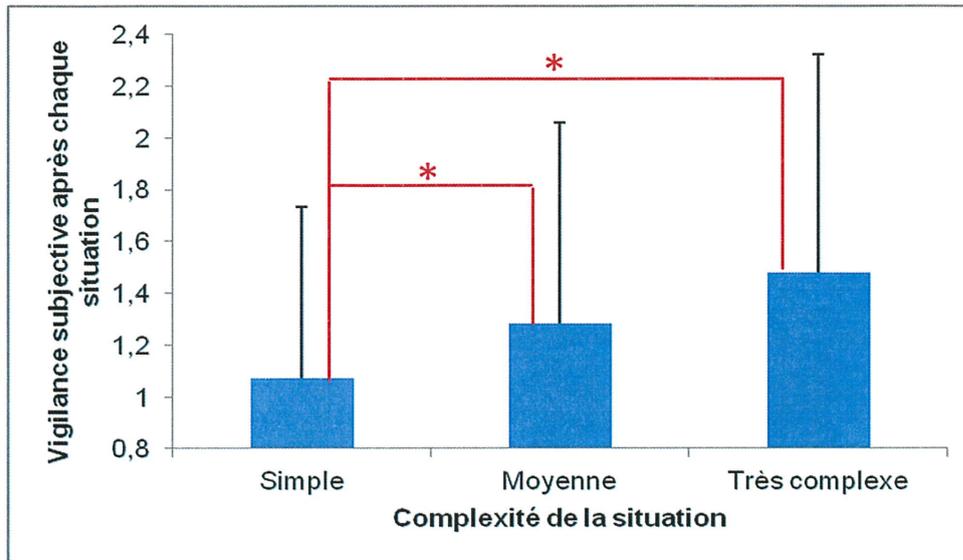
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire ($\beta = .11$, $p < .001$). Pour les FinPB, la hausse de charge subjective diminuait la vigilance subjective après chaque situation (effet linéaire, $\beta = -.29$, $p < .001$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = .06$, $p < .01$) et non linéaire ($\beta = .11$, $p < .001$). En situations simple et moyennement complexe, la hausse de vigilance subjective avant chaque situation diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet non linéaire (respectivement : $\beta = -1.34$, $p < .001$ et $\beta = -.67$, $p < .05$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet non linéaire significatif ($\beta = .07$, $p < .01$). En situation simple, la hausse de charge de travail

subjective augmentait la vigilance subjective après chaque situation (effet non linéaire, $\beta = -1.28$, $p < .05$).

L'interaction Situation \times Différentiel de fréquence cardiaque avait des effets linéaire ($\beta = .22$, $p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.16$, $p < .01$). En situation simple, la hausse de charge de travail objective diminuait la vigilance subjective après chaque situation avec un effet linéaire ($\beta = -.29$, $p < .01$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 14. Vigilance subjective après la conduite en fonction de la complexité de la situation.

Données physiologiques : Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta

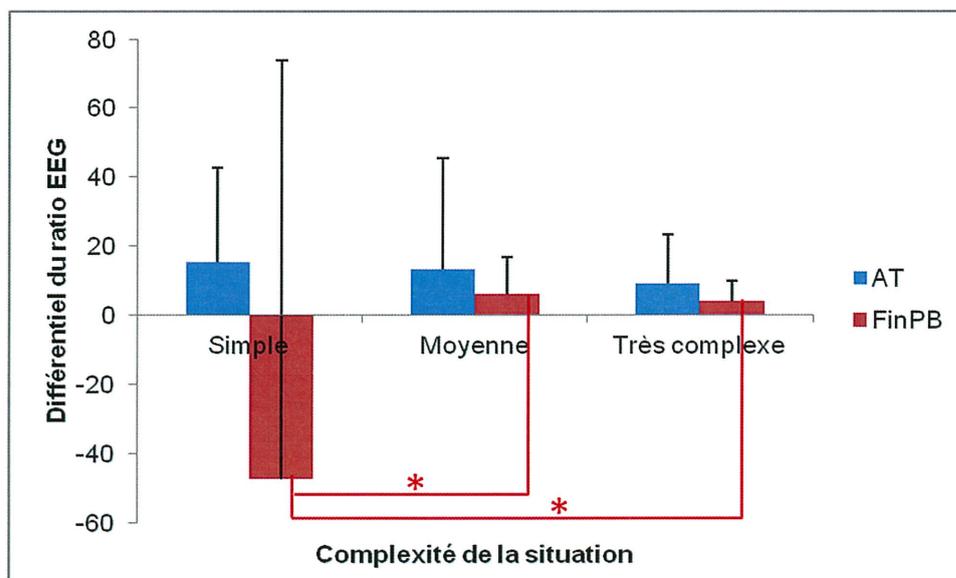
Test de Sobel. Les données physiologiques étaient les mêmes durant les portions avec piétons et sans piétons car le ratio (alpha + theta) / beta a été analysé sur l'ensemble de chaque situation. Ainsi, comme dans les sections sans piétons aucun facteur étudié n'avait d'effet indirect sur la vigilance objective.

T de Student. L'expérience avait un effet significatif sur le différentiel du ratio EEG ($t(286) = 3.84$), $p < .001$), avec une vigilance plus élevée pour les novices que pour FinPB.

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens du différentiel du ratio EEG étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs considérés expliquaient 36.66 % de la variance du différentiel du ratio EEG.

- *Effets simples principaux.* La hausse de charge objective augmentait la vigilance objective avec un effet linéaire ($\beta = .18$, $p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.43$, $p < .01$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire ($\beta = .18$, $p < .001$). Les valeurs de vigilance objective des FinPB étaient plus faibles en situation simple qu'en situations moyennement complexe et très complexe (Figure 15).

L'interaction Expérience × Ratio EEG avant avait un effet linéaire ($\beta = .15, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance objective des novices avant chaque situation entraînait un niveau élevé de vigilance objective (effet non linéaire ; $\beta = .77, p < .01$). L'interaction Expérience × Charge de travail subjective avait un effet linéaire significatif ($\beta = -.22, p < .001$). La hausse de charge de travail subjective augmentait la vigilance objective pour les novices (effet linéaire, $\beta = .33, p < .001$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 15. Vigilance objective (différentiel du ratio EEG) en fonction de l'expérience et de la situation.

L'interaction Situation × Tension subjective avant avait des effets linéaire ($\beta = -.31, p < .001$) et non linéaire ($\beta = -.21, p < .01$). En situation simple, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation entraînait un niveau élevé de vigilance objective avec un effet linéaire ($\beta = .22, p < .05$).

L'interaction Situation × Activité électrodermale avant avait un effet linéaire ($\beta = -.27, p < .001$). En situation simple, un niveau élevé de tension avant chaque situation entraînait un niveau élevé de vigilance objective (effet linéaire ; $\beta = .22, p < .05$).

L'interaction Situation × Ratio EEG avant avait un effet linéaire ($\beta = -.33, p < .001$). En situations simple ($\beta = .31, p < .01$) et très complexe ($\beta = .47, p < .001$), un niveau élevé de vigilance avant entraînait un niveau élevé de vigilance objective, en situation moyennement complexe, il le diminuait ($\beta = -.22, p < .05$).

L'interaction Situation × Charge de travail subjective avait des effets linéaire ($\beta = .15, p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.38, p < .001$). En situation moyennement complexe, la hausse de charge de travail subjective augmentait le différentiel du ratio EEG (vigilance objective) avec un effet linéaire ($\beta = .43, p < .001$).

Corrélation entre données subjectives et physiologiques. La vigilance subjective après chaque situation et la vigilance objective n'étaient pas corrélés ($r = -.02, n.s.$).

Stratégies d'évitement des 2e et 3e piétons

Régression logistique. Les conducteurs à la fin du permis probatoire et les conducteurs novices n'adoptaient pas plus fréquemment une stratégie d'évitement des piétons qu'une autre

(respectivement, freinage : OR = 28, 95 % CI [-2.89, .36], n.s ; écart : OR = .70, 95% CI [-.83, .13], n.s et combinaison freinage/écart : OR = 2.51, 95 % CI [-.73, 2.56], n.s).

Analyse de régression polynomiale. Les stratégies des participants étaient soumises à la régression polynomiale 3 (Situation) × 1 (Tension subjective avant chaque situation) × 1 (Vigilance subjective avant chaque situation) × 1 (Tension subjective après chaque situation) × 1 (Vigilance subjective après chaque situation) × 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) × 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) × 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) × 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta). Dans ce modèle, les prédicteurs étaient responsables de 18.08 % de la variance.

- *Effets simples principaux.* Analyses post-hoc non significatives.
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Situation × Tension subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = -.23$, $p < .01$) et non linéaire ($\beta = -.63$, $p < .001$) sur les stratégies d'évitement des piétons. En situation moyennement complexe, un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation avait tendance à provoquer 0,85 fois plus de combinaison freinage/écart que de freinage (Tableau 7).

Tableau 7. Effet de la tension subjective avant chaque situation sur les stratégies d'évitement des piétons en fonction de la complexité de la situation.

Stratégies	Simple		Moyennement complexe		Très complexe	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Freinage et écart	1.00	-.48, .49	.90	-.69, .48	.83	-.53, .14
Freinage et combinaison	.90	-.24, .04	.85	-.34, .02	1.01	-.15, .16
Ecart et combinaison	.88	-.70, .45	.92	-.56, .41	1.20	-.16, .53

Note: * $p < .05$; ** $p < .001$

L'interaction Situation × Tension subjective après avait un effet linéaire sur les stratégies d'évitement des piétons ($\beta = .17$, $p < .01$). En situation simple, la hausse de tension subjective après chaque situation entraînait une tendance à ce qu'il y ait 0,59 fois moins de freinages que d'écart, et 0,82 fois moins de freinages que de combinaisons freinage/écart (Tableau 8).

Tableau 8. Effet de la tension subjective après chaque situation sur les stratégies d'évitement des piétons en fonction de la complexité de la situation.

Stratégies	Simple		Moyennement complexe		Très complexe	
	OR	95% CI	OR	95% CI	OR	95% CI
Freinage et écart	.59	-1.05, .01	.92	-.42, .03	1.13	-.40, .63
Freinage et combinaison	.82 *	-.38, -.02	.86	-.36, .05	.92	-.20, .05
Ecart et combinaison	1.16	-.20, .50	.82	-.26, .35	.82	-.73, .33

Note: * $p < .05$; ** $p < .001$

Temps de Réaction (TR en sec.) face aux 2e et 3e piétons

Test de Sobel. La tension subjective après chaque situation avait un effet sur les TR via la charge de travail subjective ($z = 2.28$, $p < .05$). Un niveau élevé de tension entraînait un haut niveau de charge ($\beta = .28$, $p < .001$), qui à son tour allongeait les TR ($\beta = .16$, $p < .05$).

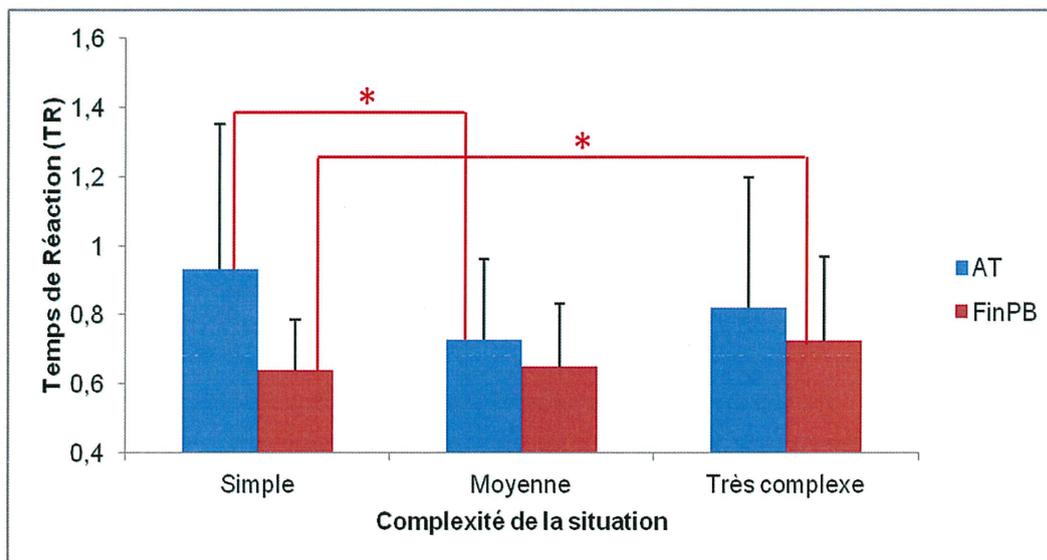
L'interaction Expérience × Tension subjective après avait un effet sur les TR via la charge de travail subjective ($z = -2.45$, $p < .05$) et avait un effet sur la charge ($\beta = -.25$, $p < .001$). Pour

les novices, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait la charge de travail subjective ($\beta = .45, p < .001$), un haut niveau de charge de travail subjective provoquait ensuite un allongement des TR ($\beta = .18, p < .01$).

T de Student. L'expérience avait un effet sur les TR ($t(286) = 4.59, p < .001$) qui étaient plus longs pour les novices ($M = .83$ s, $SD = .36$) que pour les FinPB ($M = .67$ s, $SD = .20$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens des TR étaient soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Tension subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Vigilance subjective après) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Moyenne du ratio (alpha + theta) / beta avant) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la moyenne du ratio (alpha + theta) / beta) \times 1 (Charge de travail subjective) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne). Dans ce modèle, les prédicteurs étaient responsables de 28.80 % de la variance des scores moyens des TR.

- *Effets simples principaux.* Un niveau élevé de vigilance avant et après chaque situation provoquaient un allongement des TR avec un effet non linéaire (respectivement $\beta = .36, p < .001$ et $\beta = .18, p < .01$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Situation avait un effet linéaire sur les TR ($\beta = .23, p < .001$). Les TR des novices étaient plus longs en situation simple qu'en situation moyennement complexe. Les TR des FinPB étaient plus courts en situation simple qu'en situation très complexe (Figure 16).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 16. Temps de Réaction (en sec.) en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

L'interaction Expérience \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire sur les TR ($\beta = -.72, p < .001$). Pour les novices, la hausse de vigilance objective (différentiel du ratio EEG) allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .24, p < .01$).

L'interaction Situation \times Amplitude des pics de réponse électrodermale avait un effet non linéaire sur les TR ($\beta = .18, p < .01$). En situation moyennement complexe, la hausse de tension objective allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .24, p < .05$).

L'interaction Situation \times Charge de travail subjective avait un effet linéaire sur les TR ($\beta = .11$, $p < .01$). En situation très complexe uniquement, la hausse de charge de travail subjective allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .23$, $p < .05$).

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

- *En fonction de la charge de travail subjective.* Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, la hausse de charge de travail subjective allongeait les TR en situation très complexe avec un effet linéaire (Tableau 9).

Tableau 9. Effet de la charge de travail subjective sur les TR en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple β	Moyenne β	Très complexe β
AT	.14	.09	.16
FinPB	.20	-.10	.38 *

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque.* Aucun effet de la charge de travail sur les TR n'était observé (Tableau 10).

Tableau 10. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur les TR en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple β	Moyenne β	Très complexe β
AT	-.09	-.04	.05
FinPB	.06	-.02	.01

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Nombre de collisions avec les 2e et 3e piétons

Test de Sobel. La tension subjective avant et après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions via la charge de travail subjective (respectivement $z = 2.09$, $p < .05$ et $z = 3.17$, $p < .01$). Un niveau élevé de tension (avant et après) entraînait un haut niveau de charge (respectivement $\beta = .14$, $p < .05$ et $\beta = .29$, $p < .001$), qui à son tour provoquait un nombre élevé de collisions (respectivement $\beta = .23$, $p < .001$ et $\beta = .25$, $p < .001$).

La vigilance subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions via la charge de travail subjective ($z = -2.14$, $p < .05$). Un niveau élevé de vigilance entraînait un faible niveau de charge ($\beta = -.15$, $p < .05$), qui à son tour provoquait un faible nombre de collisions ($\beta = .23$, $p < .001$).

Les interactions Expérience \times Tension subjective avant et Expérience \times EEG avant avaient un effet sur le nombre de collisions via la charge de travail subjective (respectivement $z = -2.15$, $p < .05$ et $z = -2.10$, $p < .05$). Pour les novices, un niveau élevé de tension subjective et de vigilance objective avant chaque situation entraînaient un niveau élevé de charge de travail subjective (effets linéaires, respectivement $\beta = .28$, $p < .001$ et $\beta = .57$, $p < .001$) alors que pour les FinPB, un niveau élevé de vigilance objective provoquait un faible niveau de charge avec un effet linéaire ($\beta = -.17$, $p < .05$). Un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions.

L'interaction Expérience × Tension subjective après avait un effet sur le nombre de collisions via la charge de travail subjective ($z = -3.01$, $p < .01$). La tension subjective après chaque situation était plus élevée pour les novices que pour les FinPB. Aucune différence de charge de travail subjective n'était observée entre les deux groupes mais un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .25$, $p < .001$).

L'interaction Situation × EDA avant avait un effet sur le nombre de collisions via la charge de travail subjective ($z = 2.19$, $p < .05$). En situation simple, un niveau élevé de tension avant chaque situation entraînait un faible niveau de charge avec un effet linéaire ($\beta = -.20$, $p < .05$), en situation très complexe, il entraînait un niveau élevé de charge ($\beta = .22$, $p < .05$). Un haut niveau de charge provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .20$, $p < .001$).

L'expérience avait un effet sur le nombre de collisions via le différentiel de fréquence cardiaque moyenne ($z = 2.08$, $p < .05$). L'expérience de conduite diminuait le niveau du différentiel de fréquence cardiaque moyenne ($\beta = -.35$, $p < .001$) (novices : $M = 4.81$, $SD = 8.52$; FinPB : $M = -1.12$, $SD = 7.29$). Un haut niveau du différentiel de fréquence cardiaque provoquait ensuite un faible nombre de collisions ($\beta = -.13$, $p < .05$).

La tension subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions via les stratégies d'évitement de piétons ($z = 2.06$, $p < .05$). Avec la hausse de tension subjective après chaque situation, les participants effectuaient 0,89 fois moins de freinages que de combinaisons freinage/écarts ($OR = .89$, 95 % CI [-.21, -.03], $p < .01$). Aucune différence n'était constaté entre les autres stratégies (comparaison freinage et écart : $OR = .96$, 95 % CI [-.32, .24], n.s., comparaison écart et freinage/écart : $OR = .92$, 95 % CI [-.36, .19], n.s.). Les stratégies avaient ensuite un effet sur le nombre de collisions ($\beta = .18$, $p < .01$), plus nombreuses pour la stratégie freinage/écart ($M = .27$, $SD = .45$) que pour le freinage ($M = 0$, $SD = 0$), et aucune différence entre ces deux stratégies et l'écart ($M = .13$, $SD = .34$).

L'expérience avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = -3.97$, $p < .001$). Un haut niveau d'expérience entraînait des TR plus courts ($\beta = -.26$, $p < .001$) (novices : $M = .83$, $SD = .36$; FinPB : $M = .67$, $SD = .20$). Des TR courts provoquaient ensuite un faible nombre de collisions ($\beta = .46$, $p < .001$).

Le ratio EEG et le différentiel de ratio EEG avant chaque situation avaient un effet sur le nombre de collisions via les TR (respectivement : $z = 2.61$, $p < .01$ et $z = 2.30$, $p < .05$). Ainsi, un niveau élevé de ces deux indicateurs de vigilance entraînaient un allongement des TR (respectivement : $\beta = .16$, $p < .01$ et $\beta = .14$, $p < .01$), qui à leur tour provoquait un nombre élevé de collisions (respectivement : $\beta = .47$, $p < .001$ et $\beta = .47$, $p < .001$).

La charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = 2.55$, $p < .05$). Un niveau élevé de charge entraînait un allongement des TR ($\beta = .16$, $p < .01$), qui à son tour provoquait un nombre élevé de collisions ($\beta = .46$, $p < .001$).

L'interaction Expérience × Situation avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = 2.19$, $p < .05$). Les TR des novices étaient plus longs en situation simple ($M = .93$, $SD = .42$) qu'en situation moyennement complexe ($M = .73$, $SD = .23$), ceux des FinPB étaient plus longs en situation simple ($M = .64$, $SD = .15$) que très complexe ($M = .72$, $SD = .24$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .49$, $p < .001$).

L'interaction Expérience × EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = -3.65$, $p < .001$). Pour les novices, un niveau élevé de vigilance objective avant chaque

situation provoquait un allongement des TR avec un effet linéaire ($\beta = .34, p < .01$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .43, p < .001$).

L'interaction Expérience \times pics EDA avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = 2.50, p < .05$). La hausse de tension raccourcissait les TR pour les novices avec un effet non linéaire ($\beta = -.98, p < .001$). La diminution des TR provoquait ensuite une diminution du nombre de collisions ($\beta = .47, p < .001$).

L'interaction Situation \times Vigilance subjective après chaque situation avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = 3.26, p < .01$). En situation très complexe, la hausse de vigilance subjective après chaque situation allongeait les TR (effet linéaire, $\beta = .22, p < .05$), un allongement des TR entraînait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .45, p < .001$).

L'interaction EDA avant \times EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = -2.29, p < .05$). Ainsi, un niveau élevé de vigilance objective provoquait un allongement des TR avec un effet non linéaire ($\beta = .36, p < .001$) tandis qu'un niveau élevé de tension n'avait aucun effet sur les TR ($\beta = .17, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .46, p < .001$).

L'interaction EEG avant \times Charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = 2.87, p < .01$). Un niveau élevé de vigilance provoquait un allongement des TR (effet non linéaire : $\beta = .36, p < .001$) alors que la charge de travail subjective n'avait pas d'effet sur les TR ($\beta = .06, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .46, p < .001$).

L'interaction Pics EDA \times Charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions via les TR ($z = -2.07, p < .05$). La hausse d'amplitude des pics de réponse électrodermale allongeait les TR avec un effet linéaire ($\beta = .22, p < .001$) alors que la charge de travail subjective n'avait pas d'effet sur les TR ($\beta = .06, n.s$). Un allongement des TR provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .50, p < .001$).

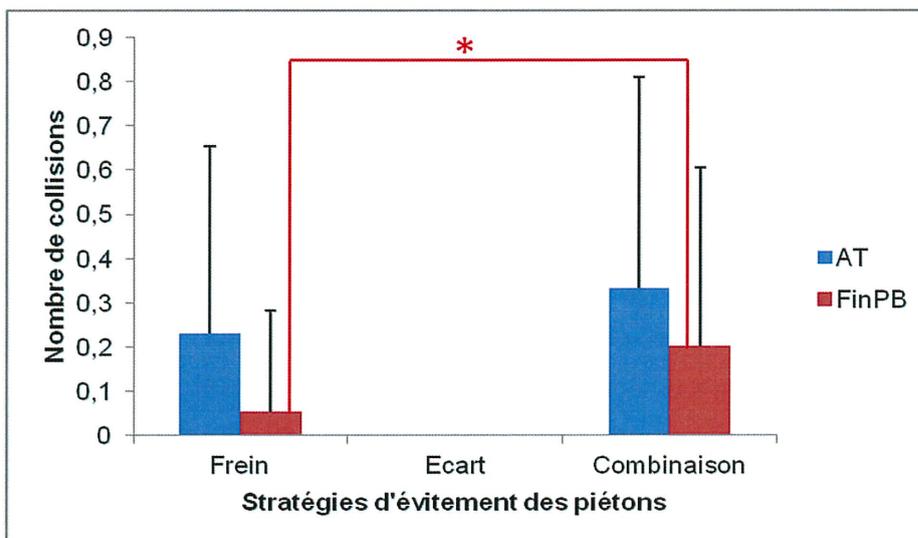
La charge de travail subjective avait un effet sur le nombre de collisions via la tension subjective après chaque situation ($z = -2.17, p < .05$). Un niveau élevé de charge entraînait un haut niveau de tension ($\beta = .28, p < .001$), qui à son tour provoquait un faible nombre de collisions ($\beta = -.14, p < .05$).

L'interaction Expérience \times EEG avant avait un effet sur le nombre de collisions via l'amplitude des pics EDA ($z = 2.27, p < .05$). Pour les novices, un niveau élevé de vigilance objective entraînait un faible niveau de tension objective avec un effet non linéaire ($\beta = -.44, p < .05$). Une tension élevée provoquait ensuite un nombre élevé de collisions ($\beta = .15, p < .05$).

T de Student. Les novices ($M = .26, SD = .44$) entraient plus souvent en collision avec les piétons que les conducteurs à la fin du permis probatoire ($M = .10, SD = .31$) ($t(286) = 3.56, p < .001$).

Analyse de régression polynomiale. Les scores moyens du nombre de collisions étaient donc soumis à la régression polynomiale 3 (Situation) \times 1 (Vigilance subjective avant) \times 1 (Activité Electrodermale moyenne avant) \times 1 (Amplitude moyenne des pics de la Réponse Electrodermale) \times 1 (Différentiel de la fréquence cardiaque moyenne) \times 1 (Stratégies d'évitement) \times 1 (Temps de Réaction). Dans ce modèle, les prédicteurs étaient responsables de 55.72 % de la variance du nombre de collisions.

- *Effets simples principaux.* La hausse de tension objective augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .31, p < .001$). L'allongement des TR diminuait le nombre de collisions avec un effet non linéaire ($\beta = -103.11, p < .001$).
- *Effets d'interaction principaux.* L'interaction Expérience \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = -.26, p < .001$). Pour les novices, une vigilance subjective élevée avant chaque situation provoquait un niveau élevé du nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .25, p < .01$). L'interaction Expérience \times Activité électrodermale avant avait un effet linéaire ($\beta = .27, p < .001$). Une tension élevée des FinPB avant chaque situation entraînait un nombre élevé de collisions (effet linéaire ; $\beta = .23, p < .01$). L'interaction Expérience \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire ($\beta = -.55, p < .01$). La hausse de vigilance objective des novices augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .20, p < .05$). L'interaction Expérience \times Stratégies avait un effet linéaire ($\beta = .13, p < .01$). Le nombre de collisions était plus faible après un freinage qu'après une combinaison freinage/écart pour les FinPB (Figure 17).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 17. Nombre de collisions en fonction de l'expérience de conduite et de la stratégie d'évitement des piétons.

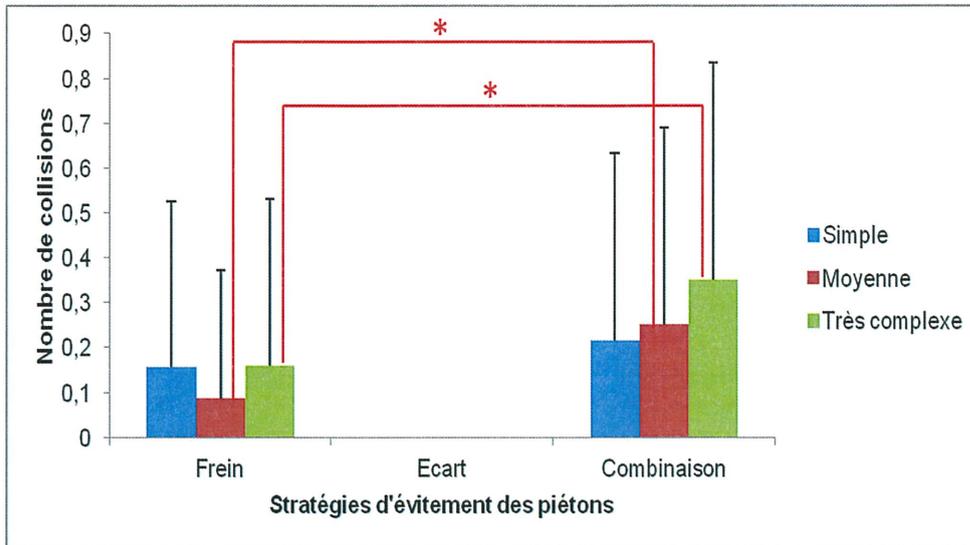
L'interaction Situation \times Vigilance subjective avant avait un effet linéaire ($\beta = .15, p < .01$). En situation très complexe, une vigilance subjective élevée entraînait un niveau élevé du nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .22, p < .05$).

L'interaction Situation \times Différentiel du ratio EEG avait un effet linéaire significatif ($\beta = .89, p < .001$). En situation très complexe, la hausse de vigilance objective augmentait le nombre de collisions avec un effet linéaire ($\beta = .25, p < .05$).

L'interaction Situation \times Stratégies avait un effet non linéaire ($\beta = .11, p < .05$). En situations moyennement complexe et très complexe, le nombre de collisions était plus faible lorsque les conducteurs freinaient que lorsqu'ils effectuaient une combinaison freinage/écart (Figure 18).

L'interaction Stratégies \times Ratio EEG avant avait des effets linéaire ($\beta = -.18, p < .001$) et non linéaire ($\beta = .22, p < .001$) et l'interaction Stratégies \times Différentiel du ratio

EEG avait un effet linéaire ($\beta = .34, p < .01$). Avec la stratégie freinage/écart, une vigilance objective élevée avant chaque situation ainsi qu'une hausse de vigilance objective entraînaient un niveau élevé du nombre de collisions (respectivement effet non linéaire, $\beta = 1.10, p < .01$ et effet linéaire, $\beta = .21, p < .05$).



Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

Figure 18. Nombre de collisions en fonction de la complexité de la situation et de la stratégie d'évitement des piétons.

Analyse de régression simple : surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

- *En fonction de la charge de travail subjective.* Pour les novices, la hausse de la charge de travail subjective augmentait le nombre de collisions en situation moyennement complexe ($\beta = .48, p < .001$) (Tableau 11).

Tableau 11. Effet de la charge de travail subjective sur le nombre de collisions en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

	Simple β	Moyenne β	Très complexe β
AT	.14	.48 **	.13
FinPB	.06	.16	.22

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

- *En fonction du différentiel de fréquence cardiaque.* Aucun effet de la charge de travail objective sur le nombre de collisions n'était observé (Tableau 12).

Tableau 12. Effet du différentiel de fréquence cardiaque sur le nombre de collisions en fonction de l'expérience de conduite et de la complexité de la situation.

Expérience de conduit	Simple β	Moyenne β	Très complexe β
AT	-.25	-.16	-.11
FinPB	.15	-.24	.02

Note : * $p < .05$; ** $p < .001$

4.5. Synthèse et discussion

4.5.1. Portions sans piétons

Durant les portions sans piétons, l'hypothèse était qu'en situations simple et très complexe, la hausse de charge de travail subjective et objective devait entraîner une dégradation des performances, en particulier pour les conducteurs novices. Il s'agissait ainsi d'identifier le niveau d'expérience à partir duquel une surcharge de travail apparaissait. De plus, l'état interne des participants (niveaux subjectif et physiologique de tension et de vigilance) devait moduler ces effets.

L'échelle de Thayer a permis d'estimer les niveaux subjectifs de vigilance et de tension avant et après chaque situation. Le NASA-TLX a permis d'estimer le niveau subjectif de charge de travail après chaque situation. Les mesures objectives de vigilance (ratio EEG « (alpha + theta) / beta »), de charge de travail (différentiel de fréquence cardiaque) et de tension (activité électrodermale moyenne) entre les périodes de repos et d'activité ont également été analysées. Les mesures objectives de conduite prises en compte étaient la vitesse moyenne, les variations de vitesse, la position latérale et les variations de position latérale du véhicule sur la chaussée.

En premier lieu, conformément au modèle présenté p 10, les individus caractérisés par une tension (objective et subjective) élevée avant ou après la conduite présentent une charge de travail plus importante qui dégrade la vigilance subjective après la conduite. L'état interne de base (avant la conduite) et l'état interne pendant la conduite influent donc bien la charge de travail ressentie qui elle-même a une influence sur l'état interne. De même, l'augmentation de charge objective était en lien avec la difficulté des situations, plus importante lors des situations complexes que lors des situations simples.

Par ailleurs les mesures objectives de charge de travail, de tension et de vigilance étaient toujours supérieures pour les conducteurs novices que pour les conducteurs en fin de permis probatoire ce qui témoigne de l'effort supplémentaire que les novices doivent fournir pour effectuer la tâche.

Surcharge en fonction de la situation et de l'expérience

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les niveaux subjectif et physiologique de charge les plus élevés étaient observés en situation très complexe. Pour les novices, aucune différence n'était observée entre les situations, probablement car la tâche de conduite leur apparaissait difficile dans tous les cas ce dont témoigne leur niveau de charge objective (différentiel de fréquence cardiaque) toujours plus élevé que celui des conducteurs à la fin du permis probatoire.

Un niveau physiologique de charge de travail élevé dégradait les performances pour tous les conducteurs en situation simple (écart-type de vitesse le plus élevé), révélant probablement une surcharge. En effet, dans cette situation monotone, l'augmentation de fréquence cardiaque témoignait d'un effort physiologique qui ne suffisait toutefois pas à stabiliser la vitesse. Cependant, la hausse du niveau subjectif de charge de travail des novices entraînait une diminution de l'écart-type de la vitesse. Le fait d'être conscients de leur niveau de charge leur permettait donc de mieux réguler leur vitesse.

Comme supposé, lorsque la charge de travail subjective était importante, les performances de conduite étaient globalement dégradées avec une perte du contrôle latérale du véhicule sur la voie (hausse des SDLP). À l'inverse, une augmentation de la charge de travail physiologique améliorait le contrôle latéral du véhicule sur la voie et permettait aux novices de fournir l'effort suffisant pour maintenir un certain niveau de vigilance en situation simple (monotone) et en situation complexe. Le niveau physiologique de charge des conducteurs à la fin du permis probatoire, plus élevé en situation très complexe qu'en situation simple, améliorait également le contrôle latéral du véhicule en favorisant la mise en œuvre d'un effort efficace à l'exécution de la tâche.

Stratégies compensatoires : vitesse moyenne et position latérale moyenne

Seuls les conducteurs en fin du permis probatoire réduisaient leur vitesse moyenne lorsque la situation devenait très complexe, probablement pour optimiser leurs performances de conduite face à la difficulté de la tâche, stratégie avérée efficace par de nombreuses recherches (Brookhuis et al., 1991 ; Cnossen et al., 2000 ; De Waard et al., 1999).

Toutefois, quel que soit le niveau d'expérience et le niveau de complexité de la situation, la hausse des niveaux subjectif et objectif de charge de travail entraînait une augmentation de la vitesse moyenne. Ce résultat indique que la conscience d'un niveau de charge élevé n'entraîne pas de réduction de vitesse et peut alors s'expliquer par un niveau de vigilance élevé, rendant les conducteurs confiants.

Tous les conducteurs positionnaient davantage le véhicule vers le milieu de voie dans les situations très complexes qui comprenaient de nombreux virages à petits rayons de courbure. Cependant, en situation simple, la hausse de charge de travail subjective entraînait également un positionnement vers le milieu de voie. Un niveau élevé de charge de travail perçue traduisait donc probablement un effort conscient de la part des conducteurs pour adopter la stratégie consistant à s'éloigner du marquage central et à adopter, comme en situation très complexe, un positionnement sécuritaire peu propice à une sortie de voie.

Niveau d'activation interne : effets modulateurs sur la surcharge ?

Le niveau d'activation interne influençait les niveaux subjectif et physiologique de charge de travail, ainsi que les performances de conduite et les stratégies compensatoires mises en œuvre.

Un niveau objectif de tension élevé et un niveau subjectif de tension bas avant chaque situation provoquaient un niveau physiologique de charge de travail élevé. Ainsi, d'une part, lorsque les conducteurs n'étaient pas conscients de leur état objectif de tension préalable à l'activité de conduite, l'effort physiologique pour réaliser la tâche était important. D'autre part, un niveau élevé de tension objective avant chaque situation entraînait une dégradation des performances avec une perte du contrôle de la vitesse et du contrôle latéral du véhicule. Le niveau de tension physiologique des conducteurs était dans ce cas probablement trop élevé

pour pouvoir maintenir de bonnes performances, conformément au modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson (1908). Toutefois, un niveau élevé de tension objective entraînait également une vitesse moyenne élevée et un positionnement du véhicule vers le milieu de la voie, proche du marquage central. L'augmentation de vitesse était ainsi associée à un positionnement limitant les possibilités de sortir de sa voie de circulation, ce positionnement pouvant malgré tout être considéré comme une stratégie compensatoire à la vitesse adoptée. Par ailleurs et contrairement à nos attentes, un niveau élevé de tension subjective améliorait les performances en situation très complexe (faible écart-type de vitesse).

Conformément à nos hypothèses, un niveau élevé de tension subjective après chaque situation, dû à un niveau élevé de tension subjective avant chaque situation, était responsable d'une charge de travail subjective élevée. Réciproquement, un niveau élevé de charge de travail subjective entraînait une augmentation du niveau de tension subjective après chaque situation. Cependant, lorsque la situation de conduite se complexifiait, un niveau élevé de charge de travail physiologique entraînait un faible niveau objectif de tension.

Comme supposé, la tension subjective avant chaque situation influençait le niveau de tension objective, et la tension subjective après chaque situation influençait les performances de conduite ainsi que les stratégies compensatoires mises en œuvre par les conducteurs. Ainsi, une tension élevée entraînait une charge de travail élevée et provoquait une perte de contrôle latéral du véhicule et un positionnement du véhicule vers le milieu de la voie. Elle augmentait également la vitesse moyenne. La hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective qui favorisait un positionnement vers le marquage central. Les conducteurs accéléraient donc tout en se rapprochant du marquage central utile au guidage de la trajectoire (Horberry et al., 2006 ; Steyvers & De Waard, 2000), ce qui peut être considéré comme une compensation à l'augmentation de vitesse.

La tension des conducteurs novices était négativement corrélée avec la vigilance. Ils avaient donc un niveau d'activation physiologique interne élevé, avec une dépense énergétique physiologique importante avant même de débiter l'activité de conduite. Avec l'expérience, un niveau élevé de tension avant chaque situation provoquait un faible niveau de charge de travail subjective. La hausse du niveau physiologique de tension dégradait globalement les performances de conduite avec une perte du contrôle de la vitesse en situation simple. Elle améliorait toutefois les performances des conducteurs novices en réduisant les SDLP ainsi que l'écart-type de vitesse.

Par ailleurs, le niveau de vigilance avait un effet modulateur de l'état interne des conducteurs. Avant chaque situation, un faible niveau de vigilance subjective pour les conducteurs novices et un niveau élevé pour les conducteurs en fin de permis probatoire entraînait une charge de travail importante, un niveau élevé favorisant de plus un positionnement du véhicule vers le milieu de la voie. Des niveaux subjectif et objectif de vigilance élevés entraînaient également une amélioration du contrôle latéral du véhicule pour les conducteurs les plus expérimentés. Avant chaque situation, un niveau élevé de vigilance objective entraînait une perte du contrôle de la vitesse, combinée à une vitesse moyenne élevée en situation simple.

À l'inverse, après chaque situation, la hausse de vigilance subjective diminuait la charge de travail pour les novices alors qu'elle l'augmentait pour les conducteurs à la fin du permis probatoire. La hausse de charge de travail subjective augmentait la vigilance subjective après chaque situation tandis que la hausse de charge de travail objective la diminuait. Le fait d'être

conscients d'avoir à fournir un effort important pour réaliser la tâche rendait donc les conducteurs vigilants.

Les niveaux subjectif et physiologique de vigilance influençaient les performances de conduite. La hausse de vigilance subjective après chaque situation était liée à une dégradation du contrôle de la position latérale du véhicule compensée toutefois par une réduction de la vitesse moyenne (observée notamment en situation très complexe). Contre toute attente, la hausse du niveau physiologique de vigilance dégradait les performances avec une perte du contrôle de la vitesse compensée par une position plus centrale de la position latérale du véhicule.

Avant la situation très complexe un niveau élevé de vigilance entraînait un niveau objectif élevé de charge (différentiel de fréquence cardiaque) cohérente avec la difficulté de la tâche et les niveaux subjectif et objectif de vigilance avant chaque situation déterminait les niveaux subjectif et objectif de vigilance après chaque situation. Toutefois, en situation moyennement complexe, un faible niveau objectif de vigilance avant provoquait un niveau objectif élevé de vigilance après. Enfin, le niveau physiologique de vigilance était plus élevé pour les novices que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, ce qui pourrait être expliqué par le fait que les novices n'avaient pas encore automatisé l'ensemble des routines de conduite (Engströme et al., 2003).

4.5.2. Portions avec piétons

Les variables subjectives analysées dans cette section sont identiques à celles analysées dans la section « Portions sans piétons ». Les données physiologiques prises en compte étaient le différentiel de fréquence cardiaque moyenne, l'amplitude des pics de réponse électrodermale et le différentiel du ratio EEG. Les données de conduite étaient le nombre d'accidents avec les piétons, les temps de réponse et stratégies d'évitement mises en œuvre pour éviter le piéton : freinage, évitement par déport latéral et combinaison freinage et déport.

L'ensemble des résultats concernant les effets de la situation et de l'expérience sur les niveaux subjectif et physiologique de charge de travail, puis les effets de la situation, de l'expérience et de la charge de travail sur les performances de conduite (TR et nombre de collisions), et enfin l'effet des stratégies d'évitement des piétons sur la charge de travail et les performances de conduite ont permis d'identifier les facteurs de surcharge en fonction des stratégies efficaces d'évitement des piétons.

En premier lieu, on notera que les mesures objectives de charge de travail, de tension et de vigilance étaient toujours supérieures pour les conducteurs novices que pour les conducteurs en fin de permis probatoire ce qui témoigne encore une fois de l'effort supplémentaire qu'ils doivent fournir pour effectuer la tâche. Ils avaient un niveau d'activation physiologique interne élevé avant chaque situation (corrélation négative entre la charge de travail et le niveau de vigilance). Cette forte dépense énergétique les prédisposait donc à la surcharge et à ses répercussions délétères sur la conduite (TR face à l'apparition des piétons plus longs que ceux des conducteurs plus expérimentés) et le nombre de collisions avec les piétons (plus élevé que celui des FinPB).

Surcharge en fonction de l'expérience et de la situation

La charge de travail subjective attribuée aux portions avec piétons n'était influencée ni par l'expérience de conduite, ni par la complexité de la situation ou par les stratégies

d'évitement des piétons. Les conducteurs n'étaient donc pas conscients d'un coût physiologique engendré par la situation.

Conformément à nos attentes, la hausse de charge de travail subjective augmentait le nombre de collisions, soit de manière directe, soit par l'intermédiaire d'un allongement des TR. Ceci était notable pour les conducteurs à la fin du permis probatoire en situation très complexe, situation dans laquelle leur niveau de charge objective était également plus élevée que celle des novices et témoigne donc d'une surcharge. Il semblerait ainsi que trois années d'expérience ne suffisent pas pour réagir rapidement lors de l'apparition d'un événement imprévu, en particulier lorsque la charge de travail due à la complexité de la situation s'intensifie.

Les TR des novices face à l'apparition des piétons s'avéraient plus longs en situation simple ce qui peut s'expliquer par un manque de vigilance observé et malgré des TR courts les résultats révélaient une surcharge de travail en situation moyennement complexe. Conformément à nos prévisions, ils entraient plus fréquemment en collision avec les piétons que les conducteurs à la fin du permis probatoire.

Stratégies d'évitement des 2e et 3e piétons

La stratégie consistant à freiner était plus coûteuse physiologiquement que la stratégie consistant à combiner un freinage et un écart, mise en œuvre plus tardivement, mais elle était également plus efficace. Notamment, elle entraînait une diminution du nombre de collisions avec les piétons pour les conducteurs à la fin du permis probatoire.

Niveau d'activation interne : effets modulateurs sur la surcharge ?

Avant et après chaque situation, la tension subjective et la tension objective (activité électrodermale) ainsi que la vigilance subjective et la vigilance objective avaient des effets modulateurs à différents niveaux. L'état initial de tension, aussi bien physiologique que subjectif, ainsi qu'un faible niveau de vigilance physiologique, entraînait une augmentation de charge lors de l'apparition des piétons. Un niveau de vigilance physiologique de base faible provoquant une tension physiologique et subjective qui augmentait alors la charge de travail subjective entraînait un nombre de collisions élevé. Par ailleurs, la hausse de charge de travail subjective augmentait la tension subjective après chaque situation. Cependant, le niveau élevé de tension diminuait à son tour le nombre de collisions avec les piétons.

Le niveau de base de vigilance subjective et objective déterminait le niveau de vigilance après chaque situation, qui à son tour expliquait le niveau de charge de travail subjective. Ainsi, avec un niveau élevé de vigilance, les conducteurs pouvaient réduire leur effort pour réaliser la tâche de conduite, en particulier dans les situations complexes et lorsqu'ils avaient un certain niveau d'expérience.

Une relation bidirectionnelle était observée entre vigilance et charge objectives, la hausse du niveau objectif de vigilance augmentait le niveau objectif de charge et réciproquement. Plusieurs facteurs influençaient les niveaux subjectif et physiologique de vigilance. Comme prévu, une tension élevée (subjective et physiologique) avant chaque situation entraînaient un niveau de vigilance (subjective pour toutes les situations, et objective dans la situation simple) élevé après la passation. De plus, un faible niveau subjectif de vigilance avant les situations simple et moyennement complexe provoquaient un faible niveau subjectif de vigilance après. La vigilance subjective après la passation était plus élevée en

situations moyennement complexe et très complexe qu'en situation simple, probablement du fait de la monotonie de la situation simple.

En situation complexe, un niveau physiologique de tension élevé avant entraînait un niveau subjectif de charge de travail élevé, qui à son tour augmentait le nombre de collisions, la tension favorisait donc la surcharge de travail. En situation simple, un faible niveau physiologique de tension entraînait un niveau subjectif de charge de travail élevé, qui à son tour augmentait le nombre de collisions, un faible niveau de tension ne permettait pas donc pas d'éviter la surcharge provoquée par l'automatisation de la tâche monotone.

Par ailleurs, dans la situation la plus complexe, une charge objective de travail élevée permettait d'être davantage préparé à réagir à la survenu de piétons, ce qui abaissait la tension physiologique.

Une relation unidirectionnelle était observée entre la vigilance subjective après chaque situation et la charge objective et des profils différents se dégageaient en fonction du niveau d'expérience des conducteurs. Pour les novices, lorsque l'un augmentait, l'autre diminuait tandis que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, les deux évoluaient dans le même sens. Ceci démontrait une fois de plus un coût physiologique plus élevé pour les conducteurs les plus expérimentés certainement dû à une charge supplémentaire qu'ils étaient capables d'allouer à des stratégies compensatoires.

Les relations en cascade observées entre les différentes composantes physiologiques de la vigilance, la charge de travail et la tension indiquaient que le fait d'être vigilant avant de débiter la conduite permettait de fournir l'effort nécessaire pour cette tâche. Cet effort entraînait une augmentation de la tension. Pour les novices, ces relations étaient à nouveau modulées par l'effet de la dimension subjective de la vigilance. Lorsqu'ils s'estimaient peu vigilants, l'effort physiologique fourni était plus élevé entraînant une augmentation de la tension physiologique.

Globalement, la hausse de tension subjective après chaque situation augmentait le niveau de charge objective. Ce lien était lié à la complexité de la situation pour les novices alors que pour les conducteurs plus expérimentés il ne se manifestait qu'en situation monotone simple favorable à la baisse de vigilance. Ainsi, le niveau de vigilance objective des FinPB était proportionnel à la difficulté de la situation, plus élevée en situations moyennement complexe et très complexe qu'en situation simple, alors que celui des novices augmentait durant les passations et était plus élevé simplement toujours plus élevé.

Cependant, pour tous les conducteurs, en situation simple, la hausse du niveau de charge diminuait la tension subjective, un coût physiologique élevé était donc sans doute nécessaire pour lutter contre la baisse de vigilance.

Un niveau physiologique de vigilance et de tension élevé des novices et un niveau bas de vigilance subjective pour les conducteurs plus expérimentés lors de l'apparition des piétons entraînaient un niveau subjectif de charge de travail élevé provoquant une dégradation des performances (surcharge).

Conformément à nos attentes, un niveau d'activation interne élevé avant de débiter la conduite, donc entraînant une dépense énergétique importante, favorisait un niveau de tension élevé. De plus, lorsque la situation se complexifiait, un niveau physiologique de vigilance élevé entraînait un niveau subjectif de tension élevé ce qui indique que le fait d'être vigilant ne permettait pas d'abaisser la tension perçue. Comme prévu, la tension subjective perçue des

novices, notamment en situation était très complexe, était plus élevée que celle des conducteurs à la fin du permis probatoire, pour lesquels la tension était plus élevée en situation simple.

De nombreux effets de la tension subjective et physiologique s'effectuaient de manière indirecte sur les performances de conduite. Pour les novices, conformément à nos attentes, les performances de conduite étaient détériorées (allongement des TR et augmentation du nombre de collisions) lorsque la tension et la charge de travail subjectives étaient élevées.

Concernant les stratégies d'évitement mises en œuvre pour éviter les piétons, la tension physiologique affectait la charge de travail physiologique uniquement lors d'une combinaison freinage-écart en situation moyennement complexe.

L'état de tension élevée ressentie par les conducteurs avant la conduite provoquait plus souvent un freinage qu'une combinaison freinage-écart pour éviter les piétons en situation moyennement complexe, bien que cette stratégie soit accompagnée d'un coût physiologique élevé (différentiel de fréquence cardiaque élevé). Par ailleurs, bien que les conducteurs à la fin du permis probatoire aient un nombre de collision avec les piétons plus faible que les conducteurs novices, un niveau physiologique objectif de tension élevé avant chaque situation entraînait directement un nombre plus élevé de collisions.

Lorsque le niveau de tension subjective après était élevé, le nombre de collisions était plus élevé si les conducteurs adoptaient la stratégie freinage-écart plutôt que la stratégie freinage ce qui est sans doute lié au fait que le freinage était effectué plus tôt et que la tension générée était plus alors plus faible. En situation simple, une tension subjective accrue semblait être propice à l'adoption de stratégies freinage-écart et écart plutôt qu'à une stratégie freinage. Dans ce cas, le niveau de vigilance étant faible, les conducteurs n'étaient pas préparés à réagir rapidement pour éviter les piétons, et mettaient en œuvre des stratégies d'évitement tardives.

Les niveaux subjectif et physiologique de vigilance influençaient les performances de conduite. Un niveau élevé de vigilance subjective après la passation était associé à des TR plus longs entraînant un nombre de collisions avec les piétons plus important, en particulier lors d'une situation très complexe. Malgré des ressources importantes dues à une vigilance élevée, celles-ci n'étaient pas suffisantes compte tenu de la complexité de la tâche (Galy, Cariou, & Mélan, 2012). Pour les novices en situation très complexe et les conducteurs adoptant la stratégie d'évitement consistant à combiner un freinage et un écart (stratégie tardive), l'allongement des TR était dû aux dimensions subjective et physiologique de la vigilance. Ainsi, malgré une vigilance élevée la mise en œuvre de la stratégie freinage/écart pour éviter les piétons semble trop coûteuse pour maintenir des bonnes performances de conduite et éviter les collisions.

6. Conclusion

En conclusion, nous pouvons constater des différences importantes entre les deux groupes de conducteurs considérés dans cette étude (les novices AT et les conducteurs à la fin du permis probatoire) aussi bien dans les portions sans qu'avec piétons.

6.1. Portions sans piétons

Malgré des niveaux physiologiques de charge de travail, de tension et de vigilance durant les situations de conduite plus élevés pour les conducteurs novices, la perception de ces dimensions est identique pour les deux groupes (novices et plus expérimentés), montrant une

sous-estimation par les novices de leur état interne et de l'effort fourni pour réaliser la tâche. Ainsi l'expérience de conduite semble avoir permis aux conducteurs d'acquérir une meilleure conscience de la situation et de leur état interne (McKenna, 1993).

Nous observons une régulation mutuelle des états de vigilance et de tension et de la charge de travail (Galy, 2013). Ainsi, en fonction du niveau de vigilance et de tension des conducteurs avant le début de la tâche de conduite, la charge de travail sera plus ou moins importante (Galy, Cariou, & Mélan, 2012). En particulier, une vigilance faible associée à une tension élevée entraîne une charge de travail élevée, démontrant la compensation d'un faible niveau de vigilance par une augmentation de la tension telle que décrite dans le modèle de Thayer (1986). Le niveau d'activation nerveuse est maintenu, et permet à l'organisme de disposer des ressources nécessaires à l'exécution de la tâche. Cette mobilisation des ressources se manifeste par une augmentation de la fréquence cardiaque différentielle rendant compte d'une charge de travail importante. En retour, la charge de travail influence les niveaux de vigilance et de tension (Galy & Gaudin, 2014). L'effet de la charge de travail dans ce cas est fonction de la complexité de la situation. Ainsi, la charge de travail a un effet plus important sur l'état interne des conducteurs lorsque la situation est complexe.

Toutes ces dimensions permettent ensuite d'expliquer les performances des conducteurs en fonction de la complexité de la situation à laquelle ils sont confrontés et de leur expérience de la conduite. Une charge de travail élevée dégradait les performances de conduite. Ainsi, avec une charge de travail plus élevée dans les situations complexes, les novices roulaient plus vite et perdaient plus fréquemment le contrôle latéral du véhicule. Les conducteurs novices, contrairement aux conducteurs plus expérimentés, se retrouvaient alors en surcharge de travail. Cependant cet effet peut être modulé par l'état interne du conducteur. Une tension élevée, en particulier, améliorerait le contrôle latéral du véhicule malgré une vitesse élevée.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, des différences sont observées par rapport aux conducteurs novices. Ainsi, la régulation de la charge de travail physiologique par les niveaux de tension et de vigilance est toujours présente mais différente. En effet, une charge de travail élevée était alors observée avec une tension faible et une vigilance élevée. Ainsi, un niveau de vigilance élevé permettait à l'organisme d'avoir à disposition les ressources énergétiques nécessaires à l'exécution de la tâche dont la mobilisation se manifestait à nouveau par une augmentation de la fréquence cardiaque différentielle. Par conséquent, que le niveau d'activation nerveuse soit dû à un éveil tendu ou énergétique (tension ou vigilance ; Thayer, 1986), il permettait de mobiliser les ressources nécessaires à la tâche de conduite. De la même manière que pour les novices, une charge de travail élevée dégradait les performances en diminuant le contrôle de la vitesse et de la position latérale du véhicule sur la voie. Cependant le contrôle latéral était meilleur lorsque le niveau de vigilance était élevé, démontrant une modulation de l'effet de la charge de travail sur les performances par la vigilance chez les conducteurs les plus expérimentés. Ce maintien des performances lorsque la vigilance est élevée peut s'expliquer par la mise en œuvre de stratégies de régulation de la conduite, mobilisant une charge de travail supplémentaire (charge de travail essentielle ; Galy, Cariou, & Mélan, 2012). Ces stratégies de régulation ne peuvent être réalisées que par des personnes ayant déjà une certaine expérience de la conduite et lorsque les ressources cognitives sont suffisantes, c'est-à-dire dans cette étude chez les conducteurs à la fin du permis probatoire et lorsque le niveau de vigilance est élevé.

6.2. Portions avec piétons

De manière générale, le niveau subjectif de tension après chaque situation, les niveaux physiologiques de tension face aux piétons, de vigilance et de charge durant les situations de

conduite, ainsi que le nombre de collisions étaient plus élevés pour les novices que pour les conducteurs à la fin du permis probatoire. Il est donc intéressant de voir si les niveaux élevés de tension, de vigilance et de charge constatés chez les novices étaient à l'origine du nombre important de collisions avec les piétons.

Par ailleurs, quel que soit le niveau d'expérience en conduite, l'amplitude des réponses électrodermales (tension physiologique) face aux piétons était plus élevée en situation très complexe qu'en situation simple. La complexité de la situation était donc bien à l'origine d'une tension particulièrement élevée face aux piétons.

De la même manière que lors des portions sans piétons, durant les portions avec piétons, une régulation mutuelle des états de vigilance et de tension et de la charge de travail (Galy, 2013) était observée pour les novices ayant suivi un apprentissage traditionnel. Ainsi, avant de débiter la tâche de conduite, un niveau d'activation interne caractérisé par une forte dépense énergétique (tension élevée et vigilance faible) entraînait une charge de travail subjective élevée lors de l'apparition des piétons, comme le modèle de Thayer (1986) le prédit. Ce niveau d'activation élevé durant la tâche de conduite augmentait le différentiel de fréquence cardiaque caractérisant la charge de travail durant l'ensemble des situations. Cependant, cette charge de travail n'était perçue réellement élevée que lorsque la situation était très complexe. En retour, l'effet de la charge de travail avait un effet sur l'état interne des conducteurs en fonction de la complexité de la situation. Ainsi, la charge de travail influençait davantage l'état interne des conducteurs en situation simple, avec un faible niveau de tension qui compensait un niveau élevé de vigilance.

La charge de travail subjective dégradait les performances de conduite, souvent à cause d'un état interne après la conduite caractérisé par un niveau élevé de tension et un faible niveau de vigilance. Le nombre de collisions avec les piétons augmentait particulièrement en situation moyennement complexe, révélant une surcharge de travail. Cette dernière s'explique par une amplitude élevée des réponses électrodermales face aux piétons reflétant un niveau de tension qui allongeait les temps de réaction dans cette situation. Ceci confirme donc que les novices n'adoptaient pas un comportement efficace avec des temps de réponse longs face au danger (McKenna & Crick, 1991 ; Quimby & Watts, 1981 ; Sexton, 2000 ; in Wallis & Hornswill, 2007). De plus, la stratégie freinage-écart était la moins coûteuse mais également la moins efficace pour éviter les piétons en situation moyennement complexe.

Pour les conducteurs à la fin du permis probatoire, quelques particularités s'observaient par rapport aux conducteurs novices. En effet, la régulation de la charge de travail s'effectuait différemment en fonction du niveau interne des conducteurs et de la complexité de la situation. Ainsi, une charge de travail élevée en situation simple était provoquée par une tension élevée, permettant d'éviter les baisses de vigilance fréquentes dans des situations de conduite monotones. De plus, un niveau de vigilance élevé permettait une mobilisation des ressources énergétiques manifestée par une augmentation de la fréquence cardiaque différentielle.

À la différence des novices, une surcharge de travail apparaissait pour les conducteurs à la fin du permis probatoire en situation très complexe, avec une hausse de charge de travail subjective entraînant une dégradation des performances. Leurs temps de réaction étaient en effet très élevés dans ces situations, pouvant s'expliquer par une automatisation de la tâche de conduite les rendant incapable d'être suffisamment flexible pour rapidement éviter les piétons (Besnard & Cacitti, 2001). Néanmoins, le nombre de collisions n'était pas davantage élevé dans les situations complexes, ce qui peut être expliqué par la mise en œuvre d'un freinage certes coûteux mais efficace pour éviter les piétons.

7. Avancée de la seconde expérience : vigilance, alcool et jeunes conducteurs

Dans cette expérience, l'hypothèse est faite que la prise d'une faible dose d'alcool en début d'après-midi, au moment de la baisse physiologique du niveau de vigilance (creux post prandial), pourrait entraîner un assoupissement précoce, notamment chez les jeunes conducteurs novices. La baisse de performance devrait s'amplifier au fur et à mesure de la conduite, notamment lorsque celle-ci est monotone et de longue durée.

Le protocole proposé à la Fondation Sécurité Routière a obtenu l'accord du Comité de protection des personnes Sud-Méditerranée I (voir pages suivantes). Par ailleurs, le recrutement de la personne chargée de cette expérience (post doctorant) est effectué en la personne de Laurent Ferrier, avec un contrat qui a débuté le 1er mai 2014.

Le recrutement des sujets expérimentaux est en cours. À ce jour, aucun retard n'est prévu dans le déroulement de cette expérience.

Rappel du protocole expérimental

Variables Indépendantes (VI) et variable contrôlée (VC) manipulées:

Expérience de conduite (G2) : Novices de 18 ans avec moins de 2 mois de permis (N = 16 ; 8 femmes et 8 hommes), jeunes conducteurs arrivant à la fin du permis probatoire âgés de 21 ans avec 3 ans de permis (N = 16 ; 8 femmes et 8 hommes).

Alcool (3 modalités) : Placebo, 0.2 g d'alcool par litre de sang, 0.5 d'alcool par litre de sang

Moment de la journée et type de tâche : Les expériences se déroulent systématiquement en début d'après-midi durant la période physiologique de chute de vigilance : creux postprandial (de 13h à 16h). Après ingestion de la boisson, les sujets conduisent le simulateur sur un circuit de type autoroutier (2*2 de voies avec un terre-plein central et glissières de sécurité) sans trafic et dans un environnement rural monotone. La tâche de conduite dure 45 minutes. La consigne donnée aux participants est de maintenir leur position en voie de droite et de garder une vitesse constante de 110 km/h.

Les variables dépendantes (VD)

Données subjectives : Questionnaire de chronotypage de Horne et Ostberg (avant le début de la session expérimentale), échelle de vigilance subjective de Thayer (avant et après la session de conduite), échelle visuelle analogique d'éveil (avant et après la session de conduite), questionnaire de charge mentale du NASA TLX (après la session de conduite), échelle visuelle analogique d'effort (après la session de conduite)

Données objectives comportementales : Position latérale du véhicule en voie (moyenne et écart type), Vitesse du véhicule (moyenne et écart type)

Données objectives physiologiques : Fréquence cardiaque, réponse électrodermale, électroencéphalogramme.

À ce jour, 9 sujets de 18 ans et 9 sujets de 21 ans ont passé les trois sessions expérimentales (placebo, 0.2 g/l et 0.5 g/l).

8. Valorisation

Paxion, J., Berthelon, C., Galy, E., & Arciszewski, T. (2014). Subjective and objective workload: a different impact on performance due to situation complexity and driving practice? Proceeding of the 28th International Congress of Applied Psychology - ICAP 2014. Paris, France, 8-13 juillet 2014.

Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2014). Effects of situation complexity and driving experience on performance through subjective and objective tension. Proceeding of the 32nd Annual Conference of the European Association of Cognitive Ergonomics – 1-3 septembre 2014, Vienne, Autriche.

Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2014). Complexité de la situation et de l'expérience de conduite: quels impacts sur les mesures objectives et subjectives de charge de travail? Séminaire du Centre PsyCLE. Communication affichée. Aix-en-Provence, France.

Berthelon, C., Paxion, J., Galy, E. (2014). Alcool, vigilance, Charge de travail : facteurs d'accident chez les jeunes conducteurs (ALCOLAC). Rapport intermédiaire de contrat Fondation sécurité routière. Juin 2014.

Berthelon, C. (2014). Présentation du projet ALCOLAC à la rencontre entre chercheurs du 6 octobre 2014. Montreal, Quebec.

Ferrier, L., Berthelon, C., Galy, E. Driving experience, alcohol and monotonous simulated driving: behavioral and subjective measures. Communication proposée à la conférence RSS 2015.

COMITE DE PROTECTION DES PERSONNES SUD MÉDITERRANÉE I

Président
Professeur Yves JAMMES

AVIS

Collège technique

Personnes qualifiées en recherche

Yves JAMMES
Jean-Christophe DUBUS (Pédatre)
Jean GAUDART (méthodologiste)
Jean-Louis ROMETTE

Marc GAINIER
Régis GUTEU
Stéphane RANQUE (méthodologiste)
Stéphane BERDAH

Médecins généralistes

Gérard SPANO
Mathieu ORTICONI

Pharmaciens hospitaliers

Bruno LACARILLE
Christine FENOTRASON

Infirmières

Dominique CHANAUD
Carine HAUX

Collège social

Personnes qualifiées en éthique

Christine ASSAÏANTE
Célia CHESCHPORTICH

Psychologues

Pierre DE ALCALA
Christine BOCCARDI

Travailleurs sociaux

Christine FAURE

Juristes

Dominique GIOCANTI
Anagnazio ALTAVILLA
André MILLIET
Jean-Pierre BINON

Représentants d'associations et usagers

Françoise MOULARD
Marie-Odile MEYER

Le Comité de Protection des Personnes Sud-Méditerranée I, agréé par arrêté ministériel en date du 12 juin 2012, constitué selon l'arrêté du Préfet de la Région Provence Alpes Côte d'Azur en date du 1^{er} mars 2013,

en application du code de la santé publique et de la réglementation en vigueur relative aux recherches biomédicales ne portant pas sur un produit mentionné à l'article L. 5311-1 du code de la santé publique

ayant été saisi par un courrier de l'IFSTTAR, promoteur d'un dossier de recherche biomédicale intitulée :

« VIGILANCE, ALCOOL ET JEUNES CONDUCTEURS »

Identifié sous le numéro EudraCT : 2014-A00350-47 dont l'investigateur (coordinateur) est M. le Dr Guy GINEY

ayant, après vérification de la conformité réglementaire, enregistré ce dossier le **28 février 2014** sous la référence interne **14 22**

Lors de sa séance plénière du **12 mars 2014** au cours de laquelle
Mesdames : D. CHANAUD, D. GIOCANTI, M-O MEYER, F. MOULARD,
Messieurs : P. DE ALCALA, S. BERDAH, J-P BINON, J-C DUBUS, Y. JAMMES,
S. RANQUE

Après avoir entendu le rapporteur du collège technique, le rapporteur du collège social et l'avis du méthodologiste ont délibéré,

Le Comité a demandé des précisions mineures concernant le protocole à réception desquelles il délivrera un avis favorable

Le Comité ayant reçu le 18 mars 2014 les documents conformes à ses attentes et ayant examiné le dossier de recherche ainsi constitué :

- Courrier de saisine daté et signé et du 25 février 2014
- Courrier de réponses aux demandes du Comité daté et signé du 18 mars 2014
- Formulaire de demande d'autorisation daté du 24 février 2014
- Document additionnel daté et signé du 24 février 2014
- Résumé version février 2014
- Protocole version février 2014
- Notice d'information version février 2014
- Formulaire de recueil de consentement version février 2014

Hôpital Sainte Marguerite

270 Bd Sainte-Marguerite 13274 MARSEILLE

Tél. : 04.91.74.42.56 - Fax : 04.91.74.42.25 - E-mail : cppsudmed1@gmail.com

Site Internet : <http://www.cppsudmediterraneel.fr>

1

COMITE DE PROTECTION DES PERSONNES SUD MÉDITERRANÉE I

Président
Professeur Yves JAMMES

- Curriculum Vitae des investigateurs
- Attestation d'assurance datée et signée du 26 février 2012
- Autorisation d'un lieu de recherche biomédicale n°2012-04 datée et signée du 8 juin 2012

a émis un **AVIS FAVORABLE**

à la mise en œuvre de cette recherche biomédicale, considérant que les conditions de validité de la recherche, notamment celles définies dans l'article L. 1123-7 du code de la santé publique, étaient réunies.



Professeur Y. JAMMES

COMITE DE PROTECTION DES PERSONNES SUD MÉDITERRANÉE I

Président
Professeur Yves JAMMES

Marseille, le 18 mars 2014

Madame Catherine Berthelon
Directrice de Recherche
IFSTTAR
UR MA
Chemin de la Croix Blanche
13300 Salon

- Objet : Avis favorable.
- Référence du Comité : 14 22
- Numéro d'identification : 2014-A00350-47
- Copie : ANSM

Madame,

Nous avons le plaisir de vous faire parvenir ci-joint l'avis favorable relatif au protocole de recherche biomédicale intitulé :

« VIGILANCE, ALCOOL ET JEUNES CONDUCTEURS »

promu par l'IFSTTAR et dont M. le Dr Guy GINEYT est l'investigateur coordonnateur.

- ❖ il vous appartient, dans le cas où l'autorité compétente délivrerait une autorisation sur des versions de documents différentes de celles qui sont citées dans l'avis ci-joint, de transmettre pour information au Comité ces nouvelles versions.
- ❖ le présent avis favorable ne porte que sur les documents mentionnés sur l'avis, et il vous appartiendra de saisir le Comité pour toute modification substantielle que vous seriez amené à envisager ;
- ❖ le Comité devra recevoir la notification de la date effective de commencement de la recherche (signature du consentement de la première personne incluse en France) ;
- ❖ en cas d'absence de début de la recherche dans le délai d'un an après la date du présent avis favorable, celui-ci deviendrait caduque sauf prorogation accordée par le Comité.

Je vous prie d'agréer, Madame, l'expression de ma considération.



Professeur Y. JAMMES

Hôpital Sainte Marguerite
270 Bd Sainte-Marguerite 13274 MARSEILLE
Tél. : 04.91.74.42.56 - Fax : 04.91.74.42.25 - E-mail : cppsudmed1@gmail.com
Site Internet : <http://www.cppsudmediterranee1.fr>

ANNEXE 1 :

Échelle de Thayer

ÉCHELLE DE THAYER

Entourez la bonne réponse :

++ je me sens très
+ je me sens un peu
? je ne sais pas
0 je ne me sens pas du tout
GA/DS :

Ne pas utiliser cet espace :

GA :
GD :
HA :
DS :

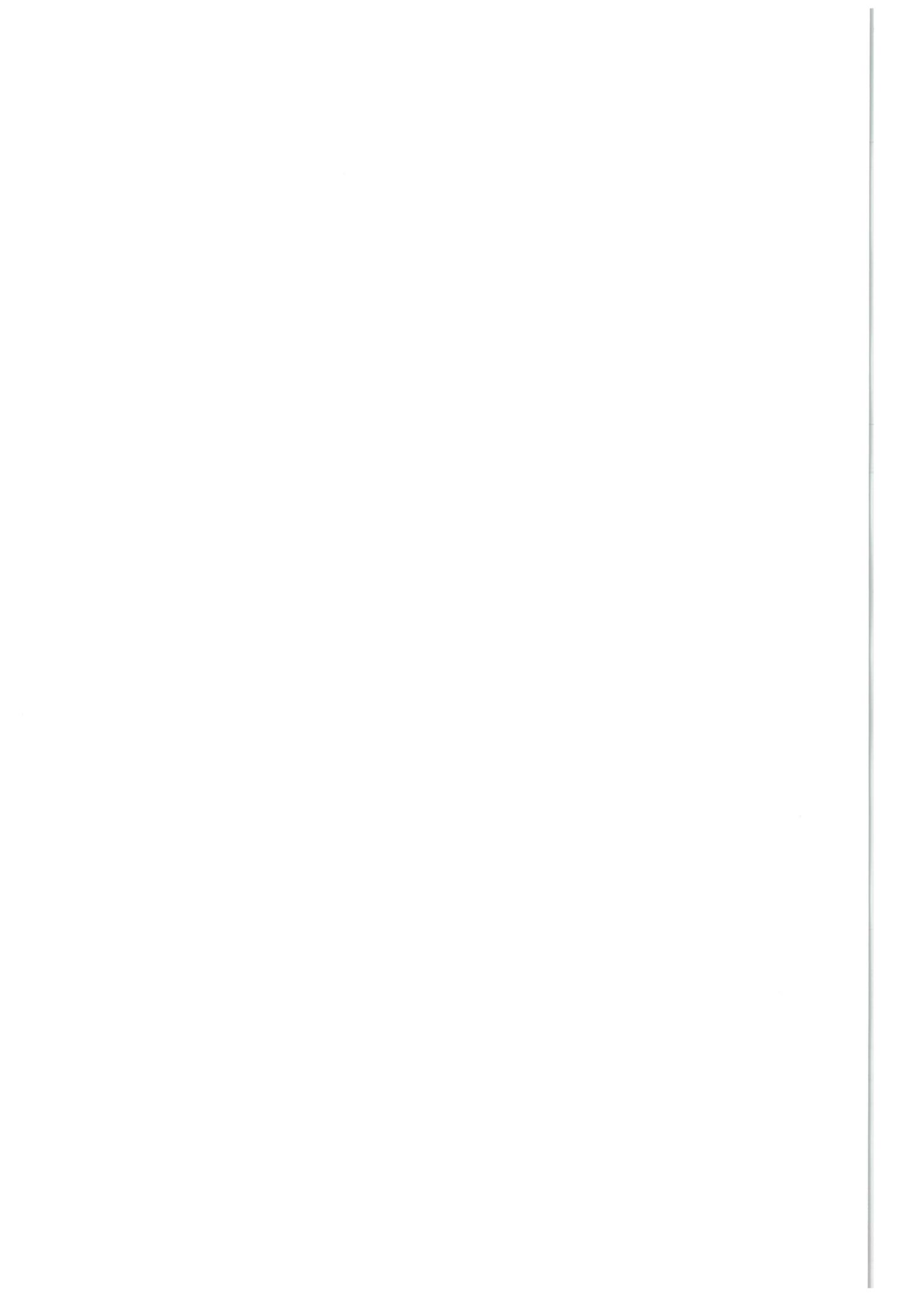
REPONDEZ A TOUTES LES QUESTIONS

Actif (ve) ++ + ? 0
Indifférent (e) ++ + ? 0
Endormi(e) ++ + ? 0
Mal à l'aise ++ + ? 0
Energique ++ + ? 0
Calme ++ + ? 0
Fatigué (e) ++ + ? 0
Dynamique ++ + ? 0
Détendu (e) ++ + ? 0
Attentif (ve) ++ + ? 0

Somnolent (e) ++ + ? 0
Inquiet (e) ++ + ? 0
« La pêche » ++ + ? 0
Tranquille ++ + ? 0
Eveillé (e) ++ + ? 0
Enervé (e) ++ + ? 0
Silencieux (se) ++ + ? 0
En forme ++ + ? 0
Tendu (e) ++ + ? 0
Crispé (e) ++ + ? 0

ANNEXE 2 :

NAXA-TLX adapté à l'expérience



NASA-TLX après la session de faible complexité

Placez une croix "X" sur chacune des échelles à l'endroit qui indique le mieux votre sentiment durant la session de conduite que vous venez de réaliser. Vos compétences de conduite ne sont pas évaluées. Il n'y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Exigence mentale:

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites (sans piétons) ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Exigence physique :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites (sans piétons) ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Exigence temporelle :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les lignes droites (sans piétons) ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Performance :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé ?

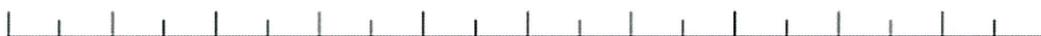


Réussite

Echec

- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les lignes droites (sans piétons) ?



Réussite

Echec

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé aux moments où les piétons surgissaient ?



Réussite

Echec

Effort :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des lignes droites :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les lignes droites (sans piétons) ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des piétons :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faiblement

Très fortement

Frustration :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des lignes droites (sans piétons) :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les lignes droites (sans piétons) ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des piétons :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faiblement

Très fortement

NASA-TLX après la session de complexité moyenne

Placez une croix "X" sur chacune des échelles à l'endroit qui indique le mieux votre sentiment durant la session de conduite que vous venez de réaliser. Vos compétences de conduite ne sont pas évaluées. Il n'y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Exigence mentale:

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Exigence physique :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Exigence temporelle :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les lignes droites ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des virages :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les virages ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Performance :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé ?



Réussite

Echec

- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les lignes droites ?



Réussite

Echec

- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les virages ?



Réussite

Echec

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé aux moments où les piétons surgissaient ?



Réussite

Echec

Effort :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des lignes droites :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les lignes droites ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des virages :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les virages ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des piétons :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faiblement

Très fortement

Frustration :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des lignes droites :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les lignes droites ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des virages :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les virages ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des piétons :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faiblement

Très fortement

NASA-TLX après la session de forte complexité

Placez une croix "X" sur chacune des échelles à l'endroit qui indique le mieux votre sentiment durant la session de conduite que vous venez de réaliser. Vos compétences de conduite ne sont pas évaluées. Il n'y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse.

Exigence mentale:

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension du trafic :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient avec la présence d'autres véhicules ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous que les exigences mentales de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Exigence physique :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les lignes droites ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient pendant les virages ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension du trafic :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient avec la présence d'autres véhicules ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous que les exigences physiques de la tâche de conduite effectuée étaient aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Exigence temporelle :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des lignes droites :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les lignes droites ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des virages :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, pendant les virages ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension du trafic :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, avec la présence d'autres véhicules ?



Très faibles

Très élevées

- Appréhension des piétons :

Comment avez-vous ressenti les exigences en terme de rapidité de réaction (pression du temps) liées au rythme ou à la vitesse de la tâche de conduite, aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faibles

Très élevées

Performance :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé ?



Réussite

Echec

- Appréhension des lignes droites :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les lignes droites ?



Réussite

Echec

- Appréhension des virages :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé pendant les virages ?

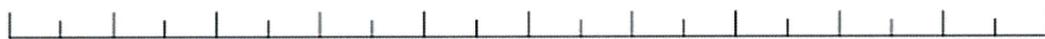


Réussite

Echec

- Appréhension du trafic :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé avec la présence d'autres véhicules ?



Réussite

Echec

- Appréhension des piétons :

Comment estimez-vous le succès avec lequel vous avez accompli ce qui vous a été demandé aux moments où les piétons surgissaient ?



Réussite

Echec

Effort :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des lignes droites :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les lignes droites ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des virages :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part pendant les virages ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension du trafic :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part avec la présence d'autres véhicules ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des piétons :

La tâche de conduite demandée a-t-elle nécessité un effort de votre part aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faiblement

Très fortement

Frustration :

- Sur l'ensemble de la session de conduite :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des lignes droites :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les lignes droites ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des virages :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) pendant les virages ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension du trafic :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) avec la présence d'autres véhicules ?



Très faiblement

Très fortement

- Appréhension des piétons :

Pendant la tâche de conduite, vous êtes-vous senti frustré (non confiant, découragé, irrité, stressé ou ennuyé) aux moments où les piétons surgissaient ?



Très faiblement

Très fortement