Surcharge de travail en fonction de l'environnement de conduite, de l'expérience des conducteurs et de leur état interne

Julie Albentosa, Catherine Berthelon, Edith Galy

► To cite this version:

Julie Albentosa, Catherine Berthelon, Edith Galy. Surcharge de travail en fonction de l'environnement de conduite, de l'expérience des conducteurs et de leur état interne. *le travail humain*, 2017, 4, pp. 395-418. hal-01663587

HAL Id: hal-01663587

<https://hal.science/hal-01663587>

Submitted on 14 Dec 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SYNTHESE

*Titre court : FACTEURS DE SURCHARGE EN CONDUITE
AUTOMOBILE*

**TITRE LONG : SURCHARGE DE TRAVAIL EN FONCTION DE
L'ENVIRONNEMENT DE CONDUITE, DE L'EXPERIENCE DES
CONDUCTEURS ET DE LEUR ETAT INTERNE**

ALBENTOSA Julie¹, BERTHELON Catherine², GALY Edith³

SUMMARY

**OVERLOAD AS A FUNCTION OF DRIVING ENVIRONMENT, DRIVERS' EXPERIENCE
AND THEIR INTERNAL STATE**

The factors that lead to young drivers having accidents have been the subject of much research. In this article, we review the current literature concerning the links between the complexity of the driving environment, driving experience, workload, anxiety, vigilance, and driving performance. First, we outline the features that characterize the environment complexity and the drivers' experience. Automatic and controlled processing is typically found in simple and complex environments, respectively. It varies as a function of driving experience automation that increases with experience. The lowest levels of cognitive load and best performance are found among more experienced drivers compared to novices. Secondly, overload can be explained as a function of the environment complexity and driving experience. Several studies confirm theories stating that simple and very complex environments are particularly prone to overload; at the same time, workload is lower, and performance is better for experienced drivers compared to novices. Finally, we examine the literature in order to understand how levels of anxiety and vigilance modulate the effects of environmental complexity and a driver's experience on overload. According to the literature, costly environments (i.e. simple and very complex), combined with a lack of experience can result in high energy expenditure. A high level of anxiety and a lack of vigilance can thus impair performance through an increase in workload. Moreover, the increased workload may be directly due to the costly environment and lack of experience, which can increase energy expenditure, raise anxiety, and lower vigilance. Drawing up on various theories and empirical studies that find a link between these factors, the aim is to establish a model of the links between the characteristics of the driving environment and the individual characteristics that lead to road accidents. That will make it possible to develop specific ways to raise awareness, and new driving training modules.

KEYWORDS: workload, anxiety, alertness, performance, environment complexity, driving experience

¹ IRBA/ACSO, F-91220 - Brétigny sur Orge

² IFSTTAR, TS2, LMA, F-13300 Salon de Provence, France

³ LAPCOS, Université de Nice, F-06357 Nice

I INTRODUCTION

Dans le système complexe de circulation (environnement-usager-véhicule), l'origine des problèmes se situe principalement dans les interactions entre les trois éléments du système (Van Elslande, 2003). Nous nous centrerons sur les interactions entre l'environnement et l'utilisateur (conducteur) dans la mesure où, d'après Amditis et al. (2010), la majorité des accidents (90%) est due à « des erreurs humaines ». Ainsi, pour comprendre la survenue des accidents de la route, il convient de prendre en compte les caractéristiques de l'environnement (densité du trafic, présence d'intersection, monotonie de la route, etc.), mais également celles de l'individu (âge, expérience, état fonctionnel, etc.).

La charge de travail - est un facteur identifié comme particulièrement accidentogène. Selon les données de la littérature, un niveau trop élevé de charge de travail entraîne une dégradation des performances (De Waard, 1996). Afin de mieux appréhender la terminologie utilisée dans cet article, il apparaît important de distinguer des termes souvent proches mais bien distincts, utilisés dans la littérature : charge de travail, charge physique, charge mentale, charge cognitive et effort. D'après Hockey (2003), la charge de travail constitue le résultat de l'interaction entre les tâches exigées et l'état interne de l'individu qui sera plus ou moins capable de réaliser les tâches. Elle peut être physique et/ou mentale. La charge physique correspond au travail musculaire effectué en fonction des tâches exigées. La charge mentale, également appelée charge cognitive (Chanquoy, Tricot, & Sweller, 2007), peut être définie comme l'interaction entre les compétences, les motivations et l'état interne de l'individu. L'effort se distingue de la charge de travail dans la mesure où, comme le précisent Brookhuis et De Waard (2010), l'effort est un processus volontaire, placé sous le contrôle de l'individu, tandis que la charge de travail dépend à la fois des caractéristiques de la tâche et des capacités de l'individu. L'effort investi contribue ainsi au niveau de charge de travail.

La surcharge de travail, quant à elle, apparaît lorsque l'individu n'a plus assez de ressources pour faire face aux exigences de la tâche à réaliser. Les exigences en termes de ressources sont alors trop élevées par rapport aux ressources disponibles. Par conséquent, la charge de travail augmente jusqu'au moment où l'individu ne peut plus répondre aux exigences et où ses performances se dégradent. La surcharge de travail est donc représentée par une hausse de la charge de travail associée à une dégradation des performances (Meister, 1976). C'est à ce moment critique que les accidents de la route peuvent survenir.

La complexité de l'environnement - est une caractéristique principale pouvant mener à l'accident. En 2012, l'Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière (ONISR) recensait 8% des accidents mortels de véhicules légers dans des environnements peu complexes de type autoroutiers, contre 78% dans des environnements très complexes hors agglomération, sur des routes départementales avec un trafic dense. Plusieurs facteurs individuels sont également signalés comme ayant une influence sur le risque d'accidents de la route.

L'expérience de conduite - inhérente à l'âge est un facteur identifié par les études épidémiologiques qui montrent que les jeunes conducteurs sont sur-impliqués dans les accidents (Williams, 2003). En 2012, les accidents mortels impliquant un véhicule léger concernaient 18,6% des conducteurs ayant le permis depuis moins de deux ans.

Rapporté au nombre de kilomètres parcourus, le risque d'accident mortel de cette population était presque quatre fois plus élevé que celui des conducteurs plus expérimentés (ONISR, 2012). Le taux d'accidents très élevé des jeunes novices décroît rapidement pendant les premiers kilomètres après l'obtention du permis (McKnight, 2006), puis continue de diminuer à mesure que s'allonge sa durée de possession (Williams, 2003).

L'état interne de l'individu – peut être facteur d'accidents de la route. D'après le modèle d'activation générale de Thayer (1978, 1986, 1989), il est caractérisé par l'activation énergétique (vigilance) et l'activation tendue (tension). L'activation énergétique est communément associée à la notion de vigilance, au sens physiologique du terme (Cariou, Galy, & Mélan, 2008). Quant à la tension, elle est décrite comme une réaction en réponse à des éléments stressants et correspondrait à l'anxiété (Matthews et al., 1990; Koscec & Radosevic-Vidacek, 2004). Dans la suite de cet article, nous parlerons d'activation énergétique et de tension pour décrire le modèle de Thayer, puis nous emploierons préférentiellement les termes de vigilance et d'anxiété pour parler de ces deux dimensions de l'activation générale, qui sont des concepts repris par un ensemble de théories. Selon le Bulletin d'Analyse de Accidents de la Circulation (BAAC), l'hypovigilance serait responsable de 14 à 25% d'accidents mortels sur autoroute selon les années (ONISR, 2012). Par ailleurs, lorsque la pression temporelle fait augmenter l'anxiété, les réponses sont plus rapides mais moins précises (Hockey & Hamilton, 1983), donc potentiellement accidentogènes.

La charge de travail, la tension et la vigilance peuvent être mesurées de manière objective (indicateurs physiologiques ou de performance à une tâche secondaire), ou de manière subjective (questionnaires). Les études citées prendront en compte leurs mesures objectives et/ou subjectives.

Ces facteurs accidentogènes ont tous la particularité de majorer la charge de travail et peuvent ainsi entraîner des situations de surcharge de travail, lorsqu'ils sont dégradés (vigilance faible, anxiété élevée, expérience de conduite faible, environnement de conduite complexe), expliquant la survenue d'accidents.

Notre article se centrera sur la surcharge de travail et les facteurs l'influençant. L'objectif est d'établir les relations existant entre la complexité de l'environnement, l'expérience de conduite, l'anxiété et la vigilance afin d'expliquer le niveau de charge de travail et d'identifier les situations pouvant être caractérisées par une surcharge de travail et favorisant la survenue d'accidents. Un modèle théorique sera proposé afin de rendre compte des conditions favorables à la conduite. Ce modèle permettra d'envisager des actions plus adéquates pour concevoir les formations à la conduite d'un véhicule.

Cet article s'articule en trois grandes parties. La première présente des études permettant de comprendre l'effet de la complexité des environnements de conduite sur la survenue d'une surcharge de travail. La seconde s'intéresse à l'effet de facteurs individuels sur ce phénomène. Les facteurs individuels considérés sont l'expérience de conduite et l'état interne du conducteur, à travers la vigilance et l'anxiété. La troisième partie met en exergue les interactions entre la complexité des environnements de conduite et ces facteurs individuels pouvant entraîner une surcharge de travail et potentiellement des accidents.

II SURCHARGE DE TRAVAIL EN FONCTION DE LA COMPLEXITE DES ENVIRONNEMENTS DE CONDUITE

II.1 COMPLEXITE DES ENVIRONNEMENTS DE CONDUITE

D'après Fastenmeier et Gstalter (2007), le conducteur évolue dans un environnement composé de différents éléments, tels que le décor (arbres, infrastructures, feux tricolores, etc.), le trafic de véhicules et la forme de la route (droite, avec virages, intersections, côtes, pentes, etc.). Une situation de conduite est définie comme les interactions entre les composantes du système humain-véhicule-environnement, à partir de la perspective du conducteur. Il s'agit d'une section routière délimitée que le conducteur expérimente comme une unité de temps et d'espace, dont la fin (ou début de la situation suivante) se produit lors d'un changement environnemental (par ex., début de pluie), ou lors d'une interaction terminée pour le conducteur (par ex., fin de passage d'une intersection). Les environnements de conduite peuvent être ressentis comme plus ou moins complexes. Fastenmeier (1995) a réalisé une taxonomie de la complexité des environnements en recensant 134 environnements différents. Les résultats de l'étude ont montré qu'un environnement de conduite est fortement complexe s'il s'agit d'une route urbaine ou péri-urbaine, avec des virages ou des intersections, et une forte densité du trafic. Un critère secondaire de complexité identifié correspondait aux mauvaises conditions climatiques (par ex., pluie, neige, brouillard).

Il existe des unités séquentielles de « tâches de conduite » en fonction des situations. Par exemple, à une intersection avec un panneau « Stop » correspond une tâche qui est d'arrêter son véhicule.. Michon (1985) modélise la conduite automobile avec une hiérarchie des tâches sur trois niveaux. Le niveau *stratégique* constitue la planification des trajets et les décisions à prendre (par ex., choix de l'itinéraire à suivre). Le niveau *tactique* correspond au choix des manœuvres à effectuer face à différentes situations (par ex., trafic dense). Le niveau *opérationnel* est l'exécution des manœuvres visant à conserver le contrôle du véhicule (par ex., maîtrise de la trajectoire). En fonction du niveau des tâches, le traitement de l'information peut s'effectuer de manière contrôlée ou automatique. Aux niveaux stratégique et tactique, des processus cognitifs de haut niveau s'effectuent sur la base d'un traitement contrôlé, lent, sériel, conscient et flexible. À l'inverse, le niveau opérationnel fait intervenir des processus cognitifs de bas niveau, avec un traitement automatique, rapide, non conscient et rigide. En environnement monotone (par ex., autoroute), les conducteurs doivent maintenir leur trajectoire (tâche de troisième niveau traitée automatiquement). À contrario, en environnement complexe comme en milieu urbain, des stratégies et des tactiques, qui correspondent à des tâches de premier et second niveaux, sont requises, et sont traitées de manière contrôlée.

La pluralité des environnements de conduite fait donc intervenir des processus de traitement de l'information différents (contrôlé *versus* automatique). L'expérience de conduite peut cependant moduler ces modes de traitement.

II.2 SURCHARGE DE TRAVAIL EN ENVIRONNEMENT COMPLEXE OU EN ENVIRONNEMENT « SIMPLE »

L'environnement de conduite constitue le déterminant majeur de la charge de travail du conducteur (Verwey, 2000). Le modèle de Meister (1976) figure les interactions entre le niveau de charge de travail, le degré d'exigence des situations et des performances (Figure 1). Nous prendrons ce modèle comme référence afin de montrer l'apparition d'une surcharge (charge de travail élevée accompagnée d'une dégradation des performances) en fonction des exigences des situations de conduite. Nous ferons ainsi le lien avec la complexité des environnements qui génèrent trois niveaux de tâches différents (Michon, 1985). Selon ce modèle, les performances sont très bonnes en région A (exigences moyennes) puis diminuent en région B (exigences élevées) pour atteindre un très faible niveau en régions C (exigences très élevées) et D (très faibles exigences).

Figure 1. Performances et charge de travail en fonction des exigences (repris de Meister, 1976).
Performance and workload as a function of demands (adapted from Meister, 1976).

La région A peut être divisée en trois sous-régions, en fonction de l'effort investi (De Waard, 1996). En A1, les exigences de la tâche sont relativement faibles (tâches légèrement monotones de conduite), et sont associées à une charge de travail modérée, ainsi qu'à de bonnes performances. L'individu peut fournir un effort compensatoire (relié à l'état) si nécessaire afin de rester vigilant. Les performances peuvent donc être maintenues. En A2, l'augmentation des exigences de l'environnement (par ex., routes rurales) permet d'avoir un niveau de vigilance suffisant pour maintenir des performances avec peu d'effort et donc une charge de travail relativement faible. En A3, la forte augmentation des exigences (par ex., routes urbaines) requiert un effort important pour le traitement des informations (relié à la tâche) et le maintien des performances. Ainsi, le modèle stipule qu'en situation moyennement exigeante (région A), l'effort investi permet de maintenir de bonnes performances.

Plusieurs études menées dans des environnements dont les caractéristiques correspondent à la région A du modèle n'ont révélé aucun effet de la complexité de

l'environnement sur la charge de travail subjective, ni sur les performances (De Waard, 1991). Parfois, les performances étaient améliorées lorsque l'environnement se complexifiait (Jessurun, De Waard, Raggatt, Steyvers, & Brookhuis, 1993 ; De Waard, Jessurun, Steyvers, Raggatt, & Brookhuis, 1995). Les situations dans lesquelles les performances n'étaient pas influencées par la complexité de l'environnement étaient caractérisées par des exigences de la tâche modérées. Ceci peut être expliqué par le fait que, dans ces études, tous les conducteurs étaient expérimentés, déployant ainsi un effort plus faible que des novices malgré la complexité de l'environnement. Dans les cas où les performances étaient améliorées, il est probable que, face à la complexité de l'environnement, des stratégies compensatoires aient été mises en place pour maintenir des performances acceptables. Par exemple, des études ont montré que lorsque la charge de travail augmentait, le fait de réduire sa vitesse s'avérait être une stratégie efficace pour maintenir ses performances (Cnossen, Rothengatter, & Meijman, 2000), voire même pour les améliorer (Brookhuis, De Vries, & De Waard, 1991 ; De Waard, Van der Hulst, & Brookhuis, 1999). Réduire sa vitesse permettait ainsi au conducteur d'avoir un gain de temps pour traiter l'ensemble des informations nécessaires pour conduire, réduisant la charge de travail et maintenant les performances.

En régions D et C du modèle, la charge de travail est élevée et les performances sont dégradées, témoignant d'une surcharge de travail (Meister, 1976). En région D, l'environnement est très faiblement exigeant (par ex., sur autoroute monotone) et l'individu n'est pas capable de fournir un effort compensatoire important et constant pour lutter contre la baisse de vigilance et maintenir ses performances. Il est donc en surcharge de travail. En région C (par ex., en ville), un effort important est fourni pour pouvoir traiter le nombre élevé d'informations (situation très exigeante) dépassant la capacité de traitement d'un individu (Wickens, 1984) qui est surchargé. Lorsque le niveau de surcharge est atteint, l'individu peut accepter un faible niveau de performance, ou renoncer à effectuer la tâche. Selon Reimer, Mehler, Coughlin, Roy et Dusek (2011), le passage d'une simple tâche de conduite à une double tâche augmente la charge de travail (hausse de la fréquence cardiaque moyenne) et dégrade les performances avec une perte du contrôle latéral du véhicule sur la voie. De plus, plusieurs études ont montré que les environnements très complexes menaient à une hausse subjective de la charge de travail et à des dégradations de performances (De Waard, Brookhuis, & Hernandez-Gress, 2001; Baldauf, Burgard, & Wittmann, 2009; Di Stasi et al., 2010).

III SURCHARGE DE TRAVAIL EN FONCTION DE FACTEURS INDIVIDUELS

III.1 SURCHARGE DE TRAVAIL DUE AU MANQUE D'EXPERIENCE DE CONDUITE

Le niveau d'expérience de conduite module les effets de l'environnement sur les performances de conduite. Cela peut s'expliquer par le niveau de traitement d'automatisation de la tâche qui est faible chez les conducteurs novices (Patten, Kircher, Östlund, Nilsson, & Svenson, 2006). En effet, le traitement automatique se met en place au fur et à mesure de la pratique, comme le théorise le modèle « Skill

Rule Knowledge » (SRK ; Rasmussen, 1984). Ce modèle représente la dynamique de l'acquisition des habiletés et indique une succession d'étapes de contrôle du comportement. Dans le processus d'acquisition de la conduite, le comportement est d'abord basé sur les *connaissances* (acquises par des expériences antérieures, par le code de la route), puis sur les *règles* (savoir-faire intégré dans des modèles mentaux) et enfin sur les *habiletés* (automatisation des règles). Lorsque le comportement s'appuie sur les connaissances et sur les règles, le traitement de l'information est plutôt contrôlé. Le comportement est ensuite automatisé en se basant sur les compétences. Les conducteurs expérimentés peuvent ainsi avoir un comportement qui se réfère aux connaissances, règles ou encore habiletés, en fonction des situations. En revanche, les novices pourront baser leur comportement sur leurs habiletés qu'une fois que ces dernières auront été acquises.

La charge de travail engendrée par les tâches de conduite est étroitement liée au processus d'apprentissage et à l'acquisition d'expérience (Engströme, Gregersen, Hernetkoski, Keskinen, & Nyberg, 2003). Ainsi, nous pouvons penser qu'avec la complexité de l'environnement, la mise en œuvre contrôlée de stratégies et de tactiques devrait s'observer plus fréquemment pour les conducteurs novices que pour les expérimentés, notamment avec un coût mental particulièrement élevé dans les situations nouvelles auxquelles ces derniers n'ont jamais été confrontés lors de leur apprentissage (Damm, Nachtergaële, Meskali, & Berthelon, 2011). Dans une même situation, une charge de travail accrue, due à l'augmentation de la complexité de l'environnement, devrait donc survenir plus rapidement chez les novices que chez les expérimentés car les novices ont besoin, pour effectuer une tâche donnée, de davantage puiser dans leurs ressources cognitives. En effet, les tâches de niveau opérationnel sont particulièrement difficiles pour les novices qui n'ont pas automatisé ces routines de conduite (Engströme et al., 2003).

Certaines études montrent que les novices sont capables de mettre en œuvre des stratégies compensatoires, mais que cette mise en œuvre est tardive. Par exemple, ils tardent à réduire leur vitesse dans un environnement complexe. La régulation temporelle pour traiter les informations, permise par la réduction de la vitesse, ne leur permet donc pas de réduire leur niveau de charge de travail et de maintenir leurs performances, contrairement aux conducteurs plus expérimentés. L'étude de De Craen, Twisk, Hagenzieker, Elffers et Brookhuis (2008) a ainsi démontré que, parmi des conducteurs novices et expérimentés, seuls les expérimentés estimaient qu'ils adopteraient une stratégie de réduction de vitesse lorsque l'environnement se complexifiait. L'étude de Damm et al. (2011) a également montré que les expérimentés anticipaient davantage et plus précocement que les novices, et qu'ils mettaient en œuvre la stratégie compensatoire de réduction de vitesse de manière plus efficace. Même lorsque dans un environnement très complexe, les performances de l'ensemble des conducteurs se dégradaient, les expérimentés restaient meilleurs que les novices grâce à ces stratégies compensatoires. Les comportements des novices pourraient s'expliquer en partie par le biais d'optimisme qui est défini par une surévaluation des compétences et une sous-évaluation de la difficulté de la tâche (McKenna, 1993).

En résumé, les novices ont une mauvaise évaluation de la difficulté de la tâche et ils anticipent moins que les plus expérimentés. Cela engendre des réactions plus tardives. Sachant que certaines tâches effectuées de manière automatique par les

expérimentés demandent un effort important aux novices qui doivent mobiliser davantage de ressources cognitives, la mauvaise estimation de la difficulté de la tâche s'avère bien souvent délétère. Cependant, il faut souligner que les résultats de plusieurs études restent, à ce jour, contradictoires. Ainsi, une étude sur simulateur de conduite n'a montré aucun effet de l'expérience ni de la complexité de l'environnement sur la charge de travail subjective (Patten et al., 2006). Une autre étude (Di Stasi, Antoli, & Cañas, 2011), réalisée sur ordinateur, n'a également révélé aucun effet de l'expérience sur la charge de travail subjective, ni sur les performances. Enfin, une dernière étude (Paxion, Galy, & Berthelon, 2013) a montré que, malgré une expérience de conduite plus importante et une charge de travail auto-estimée plus faible, les conducteurs expérimentés avaient des performances tout autant dégradées que celles des novices lorsque des événements imprévus se produisaient pendant l'épisode de conduite. Dans ce cas-là, l'automatisation des tâches de la part des plus expérimentés ne s'avérerait pas suffisante pour le maintien des performances de conduite.

III.1 SURCHARGE DE TRAVAIL EN FONCTION DE L'ÉTAT INTERNE (VIGILANCE ET TENSION)

Nous aborderons la notion d'état interne (ou état d'activation) sur la base du modèle d'activation générale de Thayer (1978, 1986, 1989). Cet auteur propose un modèle à deux dimensions, qui sont l'activation énergétique (vigilance) et l'activation tendue (tension). Le modèle considère que l'activation générale résulte de l'intégration de processus physiologiques et psychologiques générés au sein d'un organisme. Selon ce modèle, l'activation énergétique peut varier sur un continuum d'énergie et de vigueur à des sentiments de fatigue et de somnolence, et la tension peut varier de sentiments de tension et d'énervement à des sentiments de calme et de placidité. De plus, l'activation énergétique (ou vigilance) est très dépendante de la rythmicité biologique de l'organisme, alors que la tension serait plus dépendante de facteurs externes, tels que la survenue d'un événement stressant (Matthews, Jones, & Graham Chamberlain, 1990 ; Koscec & Radošević-Vidacek, 2004 ; Thayer, 1978). Ces deux dimensions – énergie et tension –, sont dépendantes l'une de l'autre, mais leur relation dépend du niveau d'activation générale (figure 2). Ainsi, lorsque le niveau d'activation générale est faible ou modéré, il existe une corrélation positive entre elles. Une augmentation du niveau de tension entraînera une augmentation de l'activation énergétique. Au contraire, lorsque le niveau d'activation générale est élevé, il existe une corrélation négative entre l'énergie et la tension et un haut niveau de tension entraînera une diminution du niveau d'énergie (Thayer, 1986).

Figure 2. Représentation schématique du modèle d'activation générale à deux dimensions de Thayer

Schematic representation of Thayer's two-dimensional general activation model

L'état interne (vigilance et tension) peut avoir une influence sur la charge de travail et les performances mais de manière différente s'il s'agit de l'effet de la vigilance ou de l'effet de la tension. A notre connaissance, à part le modèle d'activation de Thayer (1986), aucune théorie ne permet de rendre compte de l'interaction entre vigilance et tension et de l'effet de cette interaction sur les performances. Cependant, de nombreuses théories tentent d'expliquer les mécanismes déterminant les effets de l'anxiété, facteur de tension nerveuse (Watson & Tellegan, 1985), sur les performances.

IV INTERACTION ENTRE ETAT INTERNE, CHARGE DE TRAVAIL ET PERFORMANCE : IMPACT DE FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET DE L'EXPERIENCE

IV.1 RELATION ANXIETE – CHARGE DE TRAVAIL - PERFORMANCE

IV.1.1 Influence de la complexité de l'environnement de conduite

Le modèle transactionnel de l'anxiété de Lazarus et Folkman (1984) - considère l'anxiété comme une transaction, une relation bidirectionnelle entre l'individu et les exigences contextuelles (facteurs personnels et environnementaux). Les environnements complexes deviennent anxiogènes à partir du moment où l'individu les évalue comme dépassant ses ressources disponibles et où il ne peut plus faire face à la situation. D'après ce modèle, l'évaluation cognitive de la situation détermine la réponse d'anxiété. Les symptômes d'anxiété peuvent se manifester de manière émotionnelle (par ex., l'appréhension), physiologique (par ex., augmentation du rythme cardiaque), ou encore comportementale (par ex., stratégies de gestion de l'anxiété centrées sur l'action ou sur le problème). Les capacités de conduite (psychomotrices, perceptives et cognitives) peuvent être perturbées, entraînant un risque élevé d'accidents. Morton et White (2012) ont montré que l'anxiété subjective induite par la tâche de préparation d'un discours entraînait une diminution de la distance de freinage au passage signalé d'un piéton. À contrario, l'état de relaxation induit par de la musique diminuait l'anxiété subjective, supprimant ainsi l'effet sur la

distance de freinage. L'anxiété subjective pouvait ainsi favoriser les situations risquées pouvant mener à un accident. Ce modèle transactionnel a l'avantage de prendre en considération les différences individuelles, telles que l'expérience subjective. Cependant, il ne prend pas en compte l'effort investi durant la réalisation de la tâche.

La théorie dynamique d'adaptation d'Hancock et Warm (1989) - explique les effets combinés de la charge de travail et de l'anxiété sur la réponse adaptative à long terme, au moyen de trois composants : i) l'input (exigences environnementales), ii) l'adaptation (réponse générale de l'organisme), et iii) l'output (réponse psychomotrice de l'organisme). Cette théorie se base sur le concept de régulation énoncé par Kahneman (1973). D'après ce dernier, lorsque la situation est anxiogène et que la charge de travail est très élevée, l'individu peut maintenir de bonnes performances en réalisant une régulation par l'effort. Cet effort implique un coût pour l'organisme, qui utilise des ressources énergétiques supplémentaires. Dans cette théorie, trois modes d'adaptation sont possibles : la stabilité dynamique (adaptation réussie face aux exigences), l'instabilité dynamique (adaptation vulnérable à l'échec face aux exigences), et la transition entre ces états de stabilité et d'instabilité dynamiques. Face à de fortes exigences de la situation, l'individu effectue une régulation par l'effort et rentre dans une zone d'instabilité dynamique. Si les coûts engendrés par l'effort sont faibles, de bonnes performances de conduite peuvent être maintenues. Cependant, ces performances maintenues avec un coût sont considérées comme étant en « détérioration latente » (Hockey, 1997). En effet, avec le temps, l'effort investi pour exécuter les tâches de conduite devient trop coûteux et peut entraîner une surcharge de travail. Les ressources cognitives sont à la fois consommées par l'effort et par l'anxiété. Cette théorie permet ainsi de comprendre l'impact de l'effort et de l'anxiété parallèlement investis face à une situation anxiogène. Il reste cependant à préciser le type de performance altérée.

La théorie de l'efficacité de traitement d'Eysenck et Calvo (1992) - tente d'expliquer les performances qui sont affectées par l'anxiété en intégrant un système d'auto-régulation pour expliquer le processus d'efficacité de traitement. La détérioration latente des performances est ainsi prédite par la relation entre performances effectives (qualité de la performance) et efficaces (quantité d'effort ou de ressources utilisée pour atteindre le niveau de performance). D'après cette théorie, l'anxiété affecterait davantage l'efficacité que la performance effective, et dégraderait davantage les performances lorsque la tâche implique la mémoire de travail. L'anxiété peut ainsi provoquer des ruminations métacognitives ou des inquiétudes qui entraînent une diminution du stockage disponible et de la capacité de traitement de la mémoire à court terme. D'après Lewis et Linder (1997), ces inquiétudes distraient l'attention portée sur la tâche principale de conduite. Le modèle S-REF (« Self-Regulatory Executive Function » - Wells & Matthews, 1996) indique que la peur de l'échec et l'inquiétude peuvent accélérer la fréquence cardiaque, formant ainsi un cercle vicieux dans lequel les symptômes somatiques peuvent à leur tour faire augmenter le niveau d'anxiété et être source de distraction interne. Dans la mesure où l'accélération de la fréquence cardiaque reflète une charge de travail élevée, nous pouvons considérer que la charge provoquée par l'anxiété pourrait à son tour générer de l'anxiété. Nibbeling, Oudejans et Daanen (2012) précisent que cette théorie nous renseigne sur le type de performance altérée par l'anxiété, mais certaines

questions persistent. Quelles fonctions exécutives sont-elles affectées par l'anxiété ? De quelle manière les stimuli anxiogènes distracteurs dégradent-ils les performances ?

La théorie du contrôle attentionnel d'Eysenck, Derakshan, Santos et Calvo (2007) – a été élaborée par les mêmes auteurs qui, avec l'aide d'autres collègues, ont tenté de fournir des explications à ces interrogations en postulant que l'anxiété réduit le contrôle attentionnel et affecte les performances de différentes manières. D'une part, l'anxiété entraîne une hausse de la charge de travail en dégradant l'efficacité de deux fonctions du contrôle exécutif de la mémoire de travail impliquées dans le contrôle attentionnel : (i) l'inhibition qui permet de résister aux interférences sur la tâche, et (ii) la flexibilité cognitive qui permet de rester focalisé sur le stimulus important. D'autre part, l'anxiété peut également produire un biais attentionnel qui incite l'individu à orienter différemment l'attention initialement portée sur la tâche, pour la diriger vers le stimulus menaçant. Les performances à la tâche sont donc dégradées. Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires afin de valider empiriquement cette théorie.

Le modèle de conflit d'objectifs de Schmidt-Daffy (2012) - atteste qu'un individu peut vouloir effectuer deux tâches en parallèle sans que cela soit faisable. Ainsi, un conducteur peut être anxieux s'il est partagé entre des objectifs de vitesse et de sécurité (par ex., route difficile mais conduite rapide pour ne pas arriver en retard). Schmidt-Daffy (2012) a expérimentalement testé son modèle, confirmant que le conflit d'objectifs (vitesse/sécurité) entraîne une hausse de l'anxiété se manifestant sur le comportement (réduction de la vitesse), la perception subjective (hausse d'anxiété) et les réponses physiologiques (hausse de la réponse électrodermale reflétant l'attention et le niveau d'activation de l'organisme). Il est à noter qu'avec l'augmentation du conflit, l'anxiété ne cessait d'augmenter, et ce, même après réduction de la vitesse. En 2013, Schmidt-Daffy a également montré que lorsque la situation de conduite était fortement anxiogène, due à un conflit d'objectifs (vitesse-sécurité) élevé, l'anxiété subjective augmentait quelle que soit la vitesse. Le modèle de conflit d'objectifs présente l'avantage d'avoir été validé en conduite automobile. Mais il n'inclut pas la charge de travail en faisant le lien entre anxiété et performance.

Les différentes théories montrent que les effets de l'anxiété sur les performances sont fonction de l'interaction entre l'individu et les exigences environnementales, de l'instabilité d'adaptation, de l'efficacité, des inquiétudes, du contrôle attentionnel et des objectifs de l'individu. Ces théories révèlent également une relation bidirectionnelle entre l'anxiété et la charge de travail. En effet, l'anxiété pourrait entraîner une charge de travail élevée due à un effort important pour réussir la tâche, et à l'inverse, la charge de travail pourrait générer de l'anxiété avec des inquiétudes pour réussir la tâche.

IV.1.2 Influence de l'expérience de conduite

Chez de jeunes apprenants, une étude (Fairclough, Tattersall, & Houston, 2006) a révélé que la hausse de la pression d'évaluation inhérente à certaines situations (leçon de conduite, examen blanc, examen officiel) augmentait l'anxiété subjective. Cette augmentation de l'anxiété était supérieure pour les individus qui échouaient à l'examen officiel que pour ceux qui le réussissaient, confirmant ainsi un lien entre

l'anxiété subjective élevée et les mauvaises performances des novices. Une autre étude (Nibbeling et al., 2012) portait sur une situation de lancé de fléchettes avec une induction d'anxiété (en haut d'un mur d'escalade) et une double tâche (comptage à rebours de trois en trois à partir d'un nombre aléatoire compris entre 500 et 1000). Les performances aux deux tâches étaient détériorées chez les novices et les expérimentés (temps de lancé de fléchettes longs et faibles taux de réponse à la seconde tâche), avec notamment une hausse subjective de l'effort mental et physique qui était plus importante pour les novices. Ces derniers échouaient à la tâche de lancé de fléchettes lorsqu'ils étaient en condition d'anxiété élevée, contrairement aux expérimentés qui y arrivaient malgré de plus longs lancers. L'anxiété générée par la situation, couplée à la hausse de l'effort, expliquerait la dégradation des performances en double tâche chez les novices. Ceci est en accord avec les travaux de Rowden, Matthews, Watson, et Biggs (2011) en conduite automobile, d'après lesquels l'impact de l'anxiété sur les performances de conduite dépendrait de la vulnérabilité du conducteur induite par le manque d'expérience.

Chapman et Underwood (1998) ont montré que, dans des situations identifiées (aussi bien par les conducteurs novices que par les expérimentés) comme étant dangereuses, les performances (temps de fixation des objets de la situation et temps de réaction) des expérimentés étaient meilleures que celles des novices. Par conséquent, une situation dangereuse devrait être évaluée comme plus anxiogène par les novices que par les expérimentés, ces derniers étant susceptibles d'avoir déjà rencontré des situations similaires.

Le niveau de dangerosité d'une situation doit être élevé pour que les novices la considèrent comme dangereuse (Finn & Bragg, 1986 ; McKenna & Crick, 1994). Une fois la situation dangereuse identifiée, la hausse d'anxiété qui s'ensuit dégrade les performances, d'autant plus lorsque l'effort fourni pour exécuter la tâche est élevé (Borowsky, Shinar, & Oron-Gilad, 2010 ; Wallis & Horswill, 2007). Ces résultats sont toutefois à nuancer dans la mesure où peu d'études montrent des effets combinés de l'anxiété et de la charge de travail sur les performances en fonction de l'expérience.

IV.2 RELATION VIGILANCE – CHARGE DE TRAVAIL - PERFORMANCE

IV.2.1 Influence de la complexité de l'environnement de conduite

D'après le modèle de courbe en U renversé de Yerkes et Dodson (1908), l'augmentation de la vigilance s'accompagne d'une amélioration des performances jusqu'à un optimum au-delà duquel les performances se détériorent. Ce niveau optimal est différent en fonction du type de tâches. L'excès de vigilance, qui se traduit par l'hyperexcitation, dégrade plus précocement les performances à des tâches complexes et précises que les performances à des tâches simples et automatiques (Figure 3).

Figure 3. Corrélation entre vigilance et performance.
Correlation between vigilance and performance.

Par ailleurs, un environnement pauvre et répétitif induit une charge de travail élevée et prolongée, entraînant un épuisement des ressources et une baisse de la vigilance (Smit, Eling, & Coenen, 2004) qui obéit à la loi de dégradation dans le temps (Campagne, Pebayle, & Muzet, 2004 ; Tarriere, 1963). Ainsi, l'automatisation de la tâche conduit à une hausse de la vigilance dans un premier temps, puis à une diminution de la vigilance et/ou un assoupissement. D'après Ting, Hwang, Doong et Jeng (2008), sur une autoroute monotone, une augmentation des temps de réaction (représentant une détérioration de l'alerte et une instabilité des performances) et de la sensation d'endormissement rendent la conduite risquée au-delà de 80 minutes. D'un point de vue accidentologique, les problèmes de vigilance entraînent des accidents se manifestant quasi-systématiquement par des pertes de contrôle du véhicule, c'est-à-dire par une incapacité à réguler une trajectoire ou une inaptitude à assurer le guidage du véhicule dans sa voie de circulation (Van Elslande, Jaffard, Fouquet, & Fournier, 2009). En effet, le nombre de déviations latérales sur la chaussée augmente au fur et à mesure que la vigilance baisse (Thiffault & Bergeron, 2003). De plus, l'hypovigilance du conducteur le rend incapable de réagir à temps ou même de réagir face aux événements critiques (Lal & Craig, 2005), altérant ainsi des éléments de performance importants en termes de sécurité.

Les situations comprenant des tâches plus complexes, variables et courtes, ou un environnement plus riche, peuvent, quant à elles, provoquer la mise en œuvre de processus compensatoires à la baisse de vigilance. Une étude d'Atchley et Chan (2011) a révélé qu'en conduite monotone, la trajectoire devenait moins stable dans le temps, certainement dû à une baisse de vigilance. Cependant, l'introduction d'une tâche concurrente permettait un maintien de la trajectoire. La complexité supplémentaire permettait donc probablement de garder un certain niveau de vigilance grâce au coût cognitif plus élevé qu'elle produisait, malgré l'environnement monotone. Une augmentation de la charge de travail provoque ainsi une hausse de vigilance, mais la tendance s'inverse lorsque les tâches deviennent plus difficiles et trop précises (Anseau & Timsit-Berthier, 1987), entraînant alors une diminution de la vigilance (Brookhuis et al., 2003). Dans un premier temps, la charge de travail augmentant, la vigilance augmente afin que l'individu mobilise les ressources nécessaires pour traiter le grand nombre d'informations. Si la charge de travail

continue d'augmenter, l'individu n'aura plus assez de ressources à sa disposition pour maintenir le niveau de vigilance nécessaire à l'exécution de la tâche.

Les environnements simples et monotones ainsi que les environnements très complexes sont susceptibles de provoquer une augmentation de la charge de travail, entraînant une baisse de vigilance plus ou moins progressive dans le temps et menant à des détériorations de performance. Cependant, la majorité des études sur la vigilance porte sur des situations monotones et il est donc difficile d'éprouver la théorie sur des environnements plus complexes.

IV.2.2 Influence de l'expérience de conduite

Les variations de vigilance affectent les performances de conduite différemment en fonction de l'expérience, notamment en termes de perception du danger. Smith, Horswill, Chambers et Wetton (2009) ont montré que les conducteurs novices déclaraient une forte hausse subjective de somnolence, se manifestant à la suite d'une baisse de vigilance et ralentissant la perception du danger. Cette perception tardive du danger diminuait alors les capacités d'anticipation et les performances de conduite des novices. Cette étude tend à montrer que, comparativement aux expérimentés, les novices ont davantage de difficultés à exécuter la tâche de conduite en cas de vigilance faible. C'est la raison pour laquelle une stratégie efficace a été mise en place en Nouvelle-Zélande, qui consiste à interdire de conduire la nuit durant la période de permis provisoire, soit pendant les trois premières années après l'obtention du permis de conduire (Begg & Stephenson, 2003). Une recherche plus approfondie et plus exhaustive est cependant nécessaire pour arriver à des conclusions quant à l'utilité avérée de telles mesures.

V DISCUSSION

Cet état de l'art a permis, d'une part d'identifier différents facteurs potentiels d'accidents, à savoir la complexité de l'environnement, l'expérience de conduite, les niveaux de charge de travail, d'anxiété et de vigilance qui ont un effet sur les performances (Tableau 1), et d'autre part de comprendre dans quelles mesures les interactions de ces facteurs constituent une synergie accidentogène qui est particulièrement due à la survenue d'une surcharge de travail. De manière attendue, les environnements simples et les niveaux subjectifs de charge de travail élevée, d'anxiété élevée et de vigilance faible détériorent les performances. Toutefois, les résultats concernant l'effet des environnements complexes ainsi que l'effet du manque d'expérience sur les performances sont contradictoires en fonction des études. Il existe donc des facteurs intermédiaires modulant l'effet de la complexité des environnements de conduite et de l'expérience sur les performances. Il est ainsi intéressant de considérer leur interaction avec les facteurs précédents cités. Un de ces facteurs intermédiaires est la charge de travail.

Tableau 1. Facteurs déterminants de la performance (approche empirique).
Determinant performance factors (empirical approach).

Facteurs	Effets sur les performances	Références
Complexité de l'environnement : <i>Environnements très complexes</i>	- n.s - Amélioration	De Waard (1991) Jessurun et al. (1993), De Waard et al. (1995), Cnossen et al. (2000), Brookhuis et al. (1991), De Waard et al. (1999)
<i>Environnements simples</i>	- Détérioration	De Waard et al. (2001), Baldauf et al. (2009), Di Stasi et al. (2010), Reimer et al. (2011) Ting et al. (2008), Atchley & Chan (2011)
Manque d'expérience	- n.s - Détérioration	Di Stasi et al. (2011) Damm et al. (2011), Nibbeling et al. (2012)
Charge de travail subjective élevée	- Détérioration	Paxion et al. (2013)
Anxiété subjective élevée	- Détérioration	Morton, & White (2012), Rowden et al. (2011)
Vigilance subjective faible	- Détérioration	Ting et al. (2008), Campagne et al. (2004)

Nous avons relevé que, d'après le modèle de Meister (1976), les environnements peu exigeants (simples, par ex., autoroute monotone) et très exigeants (très complexes, par ex., route urbaine) sont particulièrement propices à la surcharge de travail, se caractérisant par une charge de travail élevée et une dégradation des performances. La complexité des environnements peut donc avoir un effet direct sur les performances, ou indirect via la charge de travail (voir Figure 4). Cependant, peu d'études ont spécifiquement observé l'effet d'environnements simples et monotones de conduite sur la charge de travail (voir Tableau 1). De plus, les conducteurs novices n'ont pas encore suffisamment acquis d'habiletés pour entièrement automatiser leurs tâches de conduite (Engströme et al., 2003). Ces derniers sont donc davantage vulnérables que les conducteurs expérimentés, qu'il s'agisse d'un impact direct de leur manque d'expérience sur leurs performances ou d'un impact indirect, à travers une augmentation de la charge de travail (voir Figure 5). Enfin, un état interne durant la conduite caractérisé par une activation générale élevée (fortes dépenses énergétiques et corrélation négative entre la vigilance et l'anxiété; modèle d'activation de Thayer, 1986) provoque des détériorations de performances de manière directe et/ou indirecte via une hausse importante de la charge de travail. Réciproquement, la hausse de la charge peut diminuer la vigilance (Smit et al., 2004 ; Brookhuis et al., 2003) et augmenter l'anxiété durant la conduite (Wells & Matthews, 1996). De plus, nous faisons l'hypothèse que l'état interne initial avant la conduite influence l'état interne durant la conduite (voir Figure 6).

Figure 4. Effets direct et indirect des environnements simple ou très complexe sur les performances.

Direct and indirect effects of simple or very complex environments on performance.

Figure 5. Effets direct et indirect du manque d'expérience sur les performances.

Direct and indirect effect of the lack of experience on performance.

Figure 6. Effets direct et indirect de l'état interne durant la conduite sur les performances.

Direct and indirect effects of the internal state of the driver during driving on performance.

Bien que chaque facteur ait un effet direct sur les performances de conduite, les études et les modèles sur lesquels nous nous sommes appuyés déterminent plus précisément les performances lorsque l'on considère les interactions entre ces facteurs plutôt que chaque facteur isolément. A notre connaissance, aucune étude n'a testé l'effet combiné de l'ensemble de ces facteurs. Certains liens n'ont particulièrement pas été testés. D'une part, les études sur l'anxiété ont rarement abordé le lien entre anxiété et charge de travail en fonction de l'expérience. D'autre part, de nombreuses études privilégient l'effet de l'âge à celui de l'expérience sur la vigilance et les performances. Bien qu'il s'agisse de facteurs confondus, il serait important de dissocier l'âge et l'expérience afin d'estimer leur poids respectif dans la survenue des accidents causés par une baisse de vigilance. Enfin, les études portant sur la vigilance restent essentiellement ciblées sur des routes monotones. À ce jour, il est donc difficile de valider empiriquement les modèles théoriques décrivant les effets de situations très complexes sur la vigilance et les performances.

Cependant, à partir des données de la littérature, nous proposons le modèle théorique suivant (voir Figure 7) afin de rendre compte des liens entre l'ensemble des facteurs accidentogènes énoncés précédemment. Nous faisons ainsi l'hypothèse que des environnements simples ou très complexes associées à un manque d'expérience et à un état interne de base (avant la tâche de conduite) caractérisé par une activation générale élevée, d'une part entraînent un renforcement de l'augmentation de l'activation générale avec une corrélation négative entre les niveaux d'anxiété et de vigilance, et d'autre part augmentent le niveau de charge de travail. La forte dépense énergétique due à l'activation générale élevée et la hausse de charge de travail

s'influencent mutuellement et provoquent une détérioration des performances de conduite, révélant ainsi une surcharge de travail. La complexité de l'environnement, l'expérience et l'état interne ont un effet sur les performances de manière directe, ou indirecte à travers la hausse de la charge de travail.

Figure 7. Liens entre différents facteurs détériorant les performances : complexité de l'environnement, expérience, état interne et charge de travail.

Links between different factors deteriorating the performance: environment complexity, experience, internal state and workload.

Dans la mesure où une majorité des accidents implique de jeunes conducteurs (Williams, 2003), il serait intéressant de tester ce modèle afin de comprendre l'origine précise des faibles performances de conduite chez cette population et de concevoir des formations plus adaptées préparant les jeunes conducteurs à des environnements simples et monotones et de plus en plus complexes. Cela permettrait de leur faire prendre conscience de leurs capacités limitées en termes de charge de travail et de vigilance. Un apprentissage sur simulateur de conduite pourrait les exposer à de tels scénarios de conduite, sans leur faire prendre de risques réels. Des actions de prévention pourraient également être menées afin de sensibiliser les conducteurs novices aux dangers auxquels ils s'exposent lorsqu'ils n'ont pas conscience des limites de leurs capacités.

BIBLIOGRAPHIE

- Atchley, P., & Chan, M. (2011). Potential Benefits and Costs of Concurrent Task Engagement to Maintain Vigilance: A Driving Simulator Investigation. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(1), 3-12.
- Amditis, A., Andreone, L., Pagle, K., Markkula, G., Deregibus, E., Rue, M. R., Bellotti, F., Engelsberg, A., Brouwer, R., Peters, B., & De Gloria, A. (2010). Towards the Automotive HMI of the Future: Overview of the AIDE-Integrated Project Results. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(3), 567-578.
- Ansseau M., & Timsit-Berthier, M. (1987). Vigilance et troubles psychiatriques. *NeuroPsy.*, 2(2), 105-110.
- Baldauf, D., Burgard, E., & Wittmann, M. (2009). Time perception as a workload measure in simulated car driving. *Applied Ergonomics*, 40(5), 929-935.
- Begg, D., & Stephenson, S. (2003). Graduated driver licensing: the New Zealand experience. *Journal of Safety Research*, 34(1), 99-105.
- Borowsky, A., Shinar, D., & Oron-Gilad, T. (2010). Age, skill and hazard perception in driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1240-1249.
- Brookhuis, K. A., De Vries, G., & De Waard, D. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 23, 309-316.

- Brookhuis, K. A., & De Waard, D. (2010). Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 898-903.
- Brookhuis, K. A., De Waard, D., Kraaij, J. H., & Bekiaris, E. (2003). How important is driver fatigue and what can we do about it? In D. De Waard, K. A. Brookhuis, S. M. Sommer, & W. B. Verwey (Eds.), *Human Factors in the Age of Virtual Reality* (pp. 191-207). Maastricht: Shaker Publishing.
- Campagne, A., Pebayle, T., & Muzet, A. (2004). Correlation between driving errors and vigilance level: influence of the driver's age. *Physiology & Behavior*, 80(4), 515-524.
- Cariou, M., Galy, E., & Mélan, C. (2008). Differential 24-h variations of alertness and subjective tension in process controllers: investigation of a relationship with body temperature and heart rate. *Chronobiology International*, 25(4), 597-607.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive. Théorie et applications*. Paris : Armand Colin.
- Chapman, P. R., & Underwood, G. (1998). Visual search of driving situations : Danger and experience. *Perception*, 27, 951-964.
- Cnossen, F., Rothengatter, T., & Meijman, T. (2000). Strategic changes in task performance in simulated car driving as an adaptive response to task demands. *Transportation Research Part F*, 3(3), 123-140.
- Damm, L., Nachtergaële, C., Meskali, M., & Berthelon, C. (2011). The evaluation of traditional and early driving learning with simulated accident scenarios. *Human factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(4), 323-337.
- De Craen, S., Twisk, D. A. M., Hagenzieker, M. P., Elffers, H., & Brookhuis, K. A. (2008). The development of a method to measure speed adaptation to traffic complexity: Identifying novice, unsafe, and overconfident drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 40(4), 1524-1530.
- De Waard, D. (1991). Driving behavior on a high-accident-rate motorway in the Netherlands. In C. Weikert, K.A. Brookhuis, & S. Ovinus (Eds.), *Man in complex systems*, Proceedings of the Europe Chapter of the Human Factors Society Annual Meeting. Work Science Bulletin 7 (pp 113-123). Lund, Sweden: Work Science Division, Department of Psychology, Lund University.
- De Waard, D. (1996). The measurement of drivers' mental workload. *Traffic Research Center, Thesis*, 127 p.
- De Waard, D., Brookhuis, K. A., & Hernandez-Gress, N. (2001). The feasibility of detecting phone-use related driver distraction. *International Journal of Vehicle Design*, 26(1), 85-95.
- De Waard, D., Jessurum, M., Steyvers, F. J. J. M., Raggatt, P. T. F., & Brookhuis, K. A. (1995). Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation. *Ergonomics*, 38, 1395-1407.
- De Waard, D., Van der Hulst, M., & Brookhuis, K. A. (1999). Elderly and young driver's reaction to an in-car enforcement and tutoring system. *Applied ergonomics*, 30(2), 147-157.
- Di Stasi, L. L., Antoli, A., & Cañas, J. J. (2011). Main sequence: An index for detecting mental workload variation in complex tasks. *Applied Ergonomics*, 42(6), 807-813.
- Di Stasi, L. L., Renner, R., Staehr, P., Helmert, J. R., Velichkovsky, B. M., Cañas, J. J., Catena, A., & Pannasch, S. (2010). Saccadic peak velocity sensitivity to variations in mental workload. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 81(4), 413-417.
- Engströme, I., Gregersen, N. P., Hernetkoski, K., Keskinen, E., & Nyberg, A. (2003). Young novice drivers, driver education and training (VTI Rapport 491A). *Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping*.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and Performance: The Processing Efficiency Theory. *Cognition and emotion*, 6(6), 409-434.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and Cognitive Performance: Attentional Control Theory. *Emotion*, 7(2), 336-353.
- Fairclough, S. H., Tattersall, A. J., & Houston K. (2006). Anxiety and performance in the British driving test. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(1), 43-52.
- Fastenmeier, W. (1995). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem [The road traffic situation as analysis unit in the road traffic system]. In W. Fastenmeier (Ed.), *Autofahrer und Verkehrssituation Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (pp. 27-78). Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (2007). Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice. *Safety Science*, 45(9), 952-979.

- Finn, P. & Bragg, B. W. E. (1986). Perception of the risk of an accident by young and older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 18, 289-298.
- Hancock, P. A., & Warm, J. S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, 31, 519-537.
- Hockey, G. R. J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45, 73-93.
- Hockey, G. R. J. (2003). Operator functional state in the analysis of complex performance. In G. R. J. Hockey, A. W. K. Gaillard, & A. Burov (Eds.), *Operator Functional State: The Assessment and Prediction of Human Performance Degradation in Complex Tasks* (pp. 3-7). New York: Plenum Press.
- Hockey, G. R. J., & Hamilton, P. (1983). The cognitive patterning of stress states. In G. R. J. Hockey (Ed.), *Stress and Fatigue in Human Performance*. Chichester: John Wiley.
- Jessurun, M., De Waard, D., Raggatt, P. T. F., Steyvers, F. J. J. M., & Brookhuis, K. A. (1993). *Implementatie van snelheidsbeperkende maatregelen op 80 km/uur wegen: effecten op rijgedrag, activatie en beleving (Implementation of speed-reducing measures on A-class roads: effects on driving performance, activation and appreciation)*. (Report VK 93-01). Haren, The Netherlands: Traffic Research Centre, University of Groningen.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Koscec, A., & Radošević-Vidacek, B. (2004). Circadian components in energy and tension and their relation to physiological activation and performance. *Chronobiology International*, 21, 673-690.
- Lal, S. K., & Craig, A. (2005). Reproducibility of the spectral components of the electroencephalogram during driver fatigue. *International Journal of Psychophysiology*, 55(2), 137-143.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping*. Springer, New York.
- Lazarus, R. S. (1999). *Stress and emotion: a new synthesis*. New York: Springer.
- Matthews, G., Jones, D. M., Graham Chamberlain, A. (1990). Refining the measurement of mood : the UWIST Mood Adjective Checklist. *British Journal of Psychology*, 81, 17-42.
- McKenna, F. P. (1993). It won't happen to me: unrealistic optimism or illusion of control? *British Journal of Psychology*, 84, 39-50.
- McKenna, F. P., & Crick, J. L. (1994). Hazard perception in drivers: a methodology for testing and training. *TRL Contractor Report 313*. Crowthorne: Transport Research Laboratory.
- McKnight, A. J. (2006). Content of driver education. *Driver education: The path ahead. Transportation research circular, Vol. E-C101*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Meister, D. (1976). *Behavioral foundations of system development*. New York: Wiley.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior & traffic safety* (pp. 485-524). New York: Plenum Press.
- Morton, R. D., & White, M. J. (2012). Revised reinforcement sensitivity theory: The impact of FFFS and stress on driving. *Personality and Individual Differences*, 54(1), 57-63.
- Nibbeling, N., Oudejans, R. R. D., & Daanen, H. A. M. (2012). Effects of anxiety, a cognitive secondary task, and expertise on gaze behavior and performance in a far aiming task. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(4), 427-435.
- ONISR (Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière) (2012). La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2012. La documentation française, Paris, 112p.
- Patten, C. J. D., Kircher, A., Östlund, J., Nilsson, L., & Svenson, O. (2006). Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. *Accident Analysis & Prevention*, 38(5), 887-894.
- Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2013, August). Subjective overload: impact of driving experience and situation complexity. In *Proceeding of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics* (p. 12). ACM.
- Rasmussen, J. (1984). *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*. New York: North-Holland.
- Reimer, B., Mehler, B., Coughlin, F.J., Roy, N., & Dusek, A.J. (2011). The impact of a naturalistic hands-free cellular phone task on heart rate and simulated driving performance in tow age groups. *Transportation Research Part F*, 14(1), 13-25.

- Rowden, P., Matthews, G., Watson, B., & Biggs, H. (2011). The relative impact of work-related stress; life stress and driving environment stress on driving outcomes. *Accident Analysis and Prevention*, 43(4), 1332-1340.
- Schmidt-Daffy, M. (2012). Velocity safety : Impact of goal conflict and task difficulty on drivers' behaviour, feelings of anxiety, and electrodermal responses. *Transportation Research Part F*, 15(3), 319-332.
- Schmidt-Daffy, M. (2013). Fear and anxiety while driving : Differential impact of task demands, speed and motivation. *Transportation Research Part F*, 16, 14-28.
- Smit, A. S., Eling, P. A. T. M., & Coenen, A. M. L. (2004). Mental effort affects vigilance enduringly: after-effects in EEG and behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 53(3), 239-243.
- Smith, S. S., Horswill, M. S., Chambers, B., & Wetton, M. (2009). Hazard perception in novice and experienced drivers: The effects of sleepiness. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 729-733.
- Tarriere, C. (1963). La vigilance : données objectives et subjectives. *Bulletin n°6*.
- Thayer, R. E. (1978). Toward a psychological theory of multidimensional activation (arousal). *Motivation & Emotion*, 2, 1-34.
- Thayer, R. E. (1986). Activation-deactivation adjective check list: current overview and structural analysis. *Psychological report*, 58(2), 607-614.
- Thayer, R. E. (1989). *The biopsychology of mood and arousal*. New-York: Oxford University Press, pp. 231.
- Thiffault, P., & Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 381-391.
- Ting, P. H., Hwang, J. R., Doong, J. L., & Jeng, M. C. (2008). Driver fatigue and highway driving: A simulator study. *Physiology & Behavior*, 94(3), 448-453.
- Van Elslande, P. (2003). Erreurs de conduite et besoins d'aide: une approche accidentologique en ergonomie. *Le travail humain*, 66(3), 197-224.
- Van Elslande, P., Jaffard, M., Fouquet, K., & Fournier, J. Y. (2009). *De la vigilance à l'attention: influence de l'état psychophysiologique et cognitive du conducteur dans les mécanismes d'accidents*. Salon-de-Provence: INRETS report no. 280.
- Verwey, W. B. (2000). On-line Driver Workload Estimation. Effects of Road Situation and Age on Secondary Task Measures. *Ergonomics*, 43(2), 187-209.
- Wallis, T., & Horswill, M. S. (2007). Using fuzzy signal detection theory to determine why experienced and trained drivers respond faster than novices in a hazard perception test. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1177-1185.
- Watson, D., & Tellegan, A. (1985). Towards a consensual structure of moods. *Psychological Bulletin*, 98, 219-235.
- Wells, A., & Matthews, G. (1996). Modelling cognition in emotional disorder: the S-REF model. *Behaviour Research and Therapy*, 34, 881-888.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.). *Varieties of attention*. (pp. 63-102). London: Academic Press.
- Williams, A.F. (2003). Teenage drivers: patterns of risk. *Journal of Safety Research*, 34, 5-15.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 31-39.

RESUME

Les facteurs d'accidents des jeunes conducteurs font l'objet de multiples recherches. Dans cet article, nous proposons d'établir un état de la littérature concernant les relations entre complexité des environnements de conduite, expérience de conduite, charge de travail, anxiété, vigilance, et performances de conduite. Premièrement, les caractéristiques de la complexité des environnements et de l'expérience sont décrites. Un traitement automatique et contrôlé est principalement respectivement réalisé dans les situations simples et complexes. Ceci varie en fonction de l'expérience de conduite, dans la mesure où l'automatisation de la conduite est acquise avec l'expérience. Cependant, de plus faibles niveaux de charge et de meilleures performances sont observés pour les conducteurs expérimentés par rapport aux novices. Deuxièmement, la surcharge de travail est expliquée en fonction de la complexité de l'environnement et de l'expérience. Ainsi, les environnements simples et très complexes sont particulièrement enclins à la surcharge de travail. Dernièrement, la modulation de ces effets par les niveaux d'anxiété et de vigilance sont développés. D'après la littérature, les environnements coûteux, i.e. simples et très complexes, et le manque d'expérience peuvent mener à une forte dépense d'énergie. Un haut niveau d'anxiété et un faible niveau de vigilance peuvent ainsi provoquer des dégradations de performances à travers la hausse de la charge de travail. De plus, la hausse de la charge peut être directement due aux environnements coûteux et au manque d'expérience, ce qui peut augmenter la dépense d'énergie avec une hausse d'anxiété et une baisse de vigilance. L'objectif est ainsi de parvenir à un modèle établissant les liens entre des caractéristiques de l'environnement de conduite et des caractéristiques individuelles menant à des accidents de la route. Cela permettra d'adapter les actions de sensibilisation et les modules de formations à la conduite.

MOTS-CLES : charge de travail, anxiété, vigilance, performance, complexité de l'environnement, expérience de conduite