

Numéro de rapport de la FHWA : FHWA-MC-97-001
Numéro de rapport de TC : TP 12876F

ÉTUDE SUR LA FATIGUE ET LA VIGILANCE CHEZ LES CONDUCTEURS DE VÉHICULES UTILITAIRES

SOMMAIRE TECHNIQUE

Préparé pour

Federal Highway Administration
U.S. Department of Transportation

Trucking Research Institute
American Trucking Associations Foundation

Centre de développement des transports
Sûreté et Sécurité
Transports Canada

Novembre 1996

Ce rapport est aussi disponible en anglais à Transports Canada sous le titre «Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study: Technical Summary» TP 12876E.

This report is also available in English from Transport Canada under the title “Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study: Technical Summary” TP 12876E.



1. N° de la publication de Transports Canada TP 12876F	2. N° de l'étude 8274, 8277	3. N° de catalogue du destinataire		
4. Titre et sous-titre Étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires Sommaire technique		5. Date de la publication Novembre 1996		
		6. N° de document de l'organisme exécutant		
7. Auteur(s) C.D. Wylie, T. Shultz, J.C. Miller, M.M. Mitler, et R.R. Mackie		8. N° de dossier - Transports Canada ZCD1450-110-9		
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant Essex Corporation 5775 Dawson Avenue Goleta, CA 93117		10. N° de dossier - TPSGC		
		11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada T8200-3-3531/01-XSD		
12. Nom et adresse de l'organisme parain Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest 6^e étage Montréal (Québec) H3B 1X9		13. Genre de publication et période visée Sommaire technique		
		14. Agent de projet S. Vespa		
15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.) Recherche menée sous les auspices d'un accord de programme de recherche entre le Department of Transportation des États-Unis et Transports Canada, avec la FHWA agissant comme organisme contractant et D.M. Freund à titre de gestionnaire de projet de la FHWA et représentant technique du bureau du contractant. L'apport financier fourni par le Trucking Research Institute (TRI) de l'American Trucking Associations Foundation de même que la participation, au Comité de direction de ce projet, du TRI et de l'Institut canadien de recherche sur le camionnage de l'Association canadienne du camionnage méritent bien d'être soulignés. Ce rapport est publié en même temps par la FHWA, Publication No. FHWA-MC-97-001.				
16. Résumé <p>Sommaire technique du rapport de recherche intitulé <i>Étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires</i>, par Wylie et coll., daté d'octobre 1996, la plus vaste et la plus complète étude sur ce sujet à être menée en Amérique du Nord.</p> <p>Quatre-vingt conducteurs aux États-Unis et au Canada, observés sur une période de 16 semaines, ont été mis à contribution pour la collecte de données. Certains facteurs liés au travail et perçus comme pouvant avoir une influence sur l'apparition de la fatigue, la perte de vigilance et la dégradation de la performance chez les conducteurs de véhicules utilitaires ont été étudiés dans le cadre d'expérimentations menés en service payant. Parmi ces facteurs : le nombre d'heures consacrées à la conduite durant une période de travail, le nombre de jours consécutifs au volant, la période du jour au volant et la régularité des horaires.</p> <p>La partie 1 du Sommaire technique, qui trace les grandes lignes de l'étude, reprend certains extraits de la documentation technique produite sur le rapport entre la fatigue et l'occurrence de collisions; fait une synthèse de l'intérêt continu qu'a porté le Department of Transportation des États-Unis au problème de la fatigue chez les conducteurs de véhicules utilitaires; place l'étude dans son contexte historique et énonce les objectifs globaux ainsi que la méthode utilisée pour les atteindre. La partie 2 porte sur les conclusions tirées de la revue approfondie de la documentation ayant servi à la préparation de l'étude et à la formulation de ses propres conclusions et recommandations. La partie 3 présente la méthode choisie de même que les modalités de collecte de données adoptées pour l'étude, tandis que la partie 4 porte plus précisément sur les résultats, les conclusions et les recommandations.</p> <p>Pour ce qui est de la quantité de sommeil et les quatre ou cinq jours de conduite observés chez chaque conducteur dans cette étude, il a été noté que le facteur le plus dominant et le plus constant influençant la fatigue et la perte de vigilance chez les conducteurs était la période du jour. La somnolence telle qu'observée dans les enregistrements vidéo des expressions faciales était considérablement plus marquée lors de la conduite de nuit que durant la conduite de jour. Le nombre d'heures de conduite (heures au volant) et le nombre cumulatif de jours n'étaient pas des prédicteurs dominants ou constants de la fatigue observée. De nombreuses autres découvertes figurent également dans ce document, notamment les méthodologies scientifiques et les concepts de contre-mesures à la fatigue.</p>				
17. Mots clés Camionneur, fatigue, vigilance, conducteurs de véhicules utilitaires, travail par roulement, conducteur		18. Diffusion Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.		
19. Classification de sécurité (de cette publication) Non classifiée	20. Classification de sécurité (de cette page) Non classifiée	21. Déclassification (date) —	22. Nombre de pages viii, 65	23. Prix —



1. Transport Canada Publication No. TP 12876F		2. Project No. 8274, 8277		3. Recipient's Catalogue No.	
4. Title and Subtitle Étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires Sommaire technique				5. Publication Date November 1996	
				6. Performing Organization Document No.	
7. Author(s) C.D. Wylie, T. Shultz, J.C. Miller, M.M. Mitler, and R.R. Mackie				8. Transport Canada File No. ZCD1450-110-9	
9. Performing Organization Name and Address Essex Corporation 5775 Dawson Avenue Goleta, CA 93117				10. PWGSC File No.	
				11. PWGSC or Transport Canada Contract No. T8200-3-3531/01-XSD	
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West 6th Floor Montreal, Quebec H3B 1X9				13. Type of Publication and Period Covered Technical Summary	
				14. Project Officer S. Vespa	
15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.) Research was conducted under a U.S. Department of Transportation and Transport Canada research program agreement, with FHWA as the contracting agency and D.M. Freund as FHWA's Project Manager and Contracting Officer's Technical Representative. Financial contribution of Trucking Research Institute (TRI) of the American Trucking Associations Foundation as well as participation on the project Steering Committee of TRI and the Canadian Trucking Research Institute of the Canadian Trucking Association are gratefully acknowledged. This report is simultaneously published by FHWA, Publication No. FHWA-MC-97-001.					
16. Abstract <p>This is the Technical Summary of the research report <i>Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study</i> by Wylie et al., dated October 1996, concerning the largest and most comprehensive over-the-road study on this subject ever conducted in North America.</p> <p>The data collection involved eighty drivers in the U.S. and Canada who were monitored over a period of sixteen weeks. A number of work-related factors thought to influence the development of fatigue, loss of alertness and degraded performance in CMV drivers was studied within an operational setting of real-life, revenue-generating trips. These included: the amount of time spent driving during a work period; the number of consecutive days of driving; the time of day when driving took place; and schedule regularity.</p> <p>In Section 1 of the Technical Summary, the reader is provided with some extracts from the technical literature on the involvement of fatigue in crashes, a historical summary of the U.S. Department of Transportation's focus on commercial motor vehicle driver fatigue and the background to the study. The study's overall objectives and the approach used in their attainment are also provided. Section 2 presents the conclusions drawn from the literature review conducted in preparation for the study and considered in the formulation of the study's own conclusions and recommendations. Section 3 presents the study methodology and data collections methods, while Section 4 presents the study's results, conclusions and recommendations.</p> <p>For the amount of sleep and the four to five days of driving observed for each driver in this study, it was found that the strongest and most consistent factor influencing driver fatigue and alertness was time-of-day; drowsiness, as observed in video recordings of the driver's face, was markedly greater during night driving than during daytime driving. The number of hours of driving (time-on-task) and cumulative number of days were not strong or consistent predictors of observed fatigue. Numerous other findings are provided relating to scientific methodologies and fatigue countermeasure concepts.</p>					
17. Key Words Truck driver, fatigue, alertness, CMV drivers, vigilance, shift work, driver			18. Distribution Statement Limited number of copies available from the Transportation Development Centre		
19. Security Classification (of this publication) Unclassified		20. Security Classification (of this page) Unclassified		21. Declassification (date) —	22. No. of Pages viii, 65
					23. Price —

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1. INTRODUCTION	1
Rapport entre la fatigue et les collisions	1
Intérêt soutenu pour ce phénomène aux États-Unis	4
Contexte de l'étude	5
Objectifs de l'étude	6
Aperçu de la méthodologie	6
Partenariats	8
PARTIE 2. CONCLUSIONS TIRÉES DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE	9
PARTIE 3. DÉMARCHE D'ÉTUDE	11
Aperçu	12
Plan de l'étude et protocoles d'expérimentations	13
Protocoles d'expérimentations	13
Itinéraires	16
Véhicules	16
Aptitudes, recrutement et formation des conducteurs	17
Sélection des conducteurs	17
Aptitudes des conducteurs	17
Tâches de conduite	19
Formation	19
Rémunération	19
Mesure de la performance au volant	19
Mesure des déviations de trajectoires	20
Mesure des mouvements du volant	21
Mesure de la vitesse et de la distance	21
Diagnostics par tests complémentaires	22
Test de substitution	22
Test de poursuite	22
Test de vigilance simple	22
Administration de la batterie de tests	23
Enregistrements vidéo du visage et de la route	23
Mesures physiologiques	25
Température corporelle	25
Évaluation polysomnographique pendant le sommeil	26

Évaluation polysomnographique pendant la conduite	27
EEG quantitatif (EEGQ) pendant la conduite.....	28
Tonus vagal	28
Informations personnelles	29
Questionnaires et fiches journalières	29
Auto-diagnostics de fatigue	29
Ambiance cabine.....	30
Chaleur, bruit et vibrations	30
Qualité de l'air	30
Instruments embarqués.....	30
Ordinateur d'acquisition des données.....	30
Boîtiers.....	31
Alimentation.....	31
Assurance de la qualité des enregistrements.....	31
Base de données	33
PARTIE 4. RÉSULTATS, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	34
Synthèse des principaux résultats	35
Temps de repos	35
Sommeil, sommes et tests physiologiques	36
Somnolence au volant au vu des enregistrements vidéo.....	37
Somnolence au volant d'après les tests physiologiques	39
Performance au volant et pilotage du véhicule.....	40
Résultats aux tests complémentaires.....	41
Hiérarchisation des facteurs de fatigue.....	43
Méthodologie et base de données	45
Discussion des résultats	45
Effets du rythme circadien	45
Nombre d'heures au volant	47
Accumulation de la fatigue	48
Temps de repos	48
Périodes de sommeil quotidien	50
Quantité et qualité du sommeil	51
Conduite en état de somnolence.....	52
Périodes courtes de sommeil.....	53
Effet des pauses en cours de voyage.....	53
Auto-diagnostics de fatigue	54
Différences dans la susceptibilité à la somnolence.....	54
Apnées du sommeil	55

Corrélation âge et fatigue	55
Contre-mesures à la fatigue	56
Appréciation des tests complémentaires	57
Répercussions sur la sensibilisation des conducteurs à la fatigue au volant.....	58
Synthèse des résultats concernant les contre-mesures à la fatigue.....	59
Recommandations.....	60
Dispositifs de maintien de la vigilance.....	60
Sensibiliser les conducteurs à l'importance d'un sommeil suffisant	61
Améliorer la qualité des auto-diagnostics	61
Favoriser les courtes périodes de sommeil.....	61
Paramètres externes	61
Étudier des méthodes pour déceler les aptitudes à conduire de nuit.....	61
Améliorer l'organisation temporelle du travail	62
Quantité de sommeil, rythme circadien, heures de service et formation.....	62
Dispositifs d'alerte et de vigilance	62
Tests d'aptitude à la tâche de conduire	62
Dispositifs de surveillance et d'alerte en temps réel	63
Méthodes fondées sur la physiologie	64
Recherches sur les liens entre qualité du sommeil, rythme circadien et performance au volant	64
Recherche sur les tests physiologiques préventifs	64
Orientations futures	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Comparaison de la réglementation concernant les heures de conduite.....	15
Tableau 2	Description des protocoles d'expérimentations et pourcentage des heures de conduite la nuit (de 00 h 00 à 06 h 00).....	15
Tableau 3	Placement des électrodes et des capteurs pour le sommeil et la conduite	27
Tableau 4	Cotation manuelle des EEG, effectuée par des polysomnographistes en conformité avec les méthodes de Rechtschaffen et Kales (1968).....	27
Tableau 5	Échelle Stanford de mesure de l'état de vigilance/fatigue.....	29
Tableau 6	Fiche technique de la base de données brutes récoltées	34
Tableau 7	Base de données après réduction de l'information brute	34
Tableau 8	Recommandations concernant les contre-mesures à la fatigue.....	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Programme de saisie de données et démarche d'étude	14
Figure 2	Appareil de mesure des déviations de trajectoires placé sur le pavillon du véhicule	20
Figure 3	Caméra dirigée vers le conducteur et lampe infrarouge	24
Figure 4	Schéma de principe des instruments embarqués.....	32
Figure 5	Vue d'ensemble des instruments embarqués	33

ÉTUDE SUR LA FATIGUE ET LA VIGILANCE CHEZ LES CONDUCTEURS DE VÉHICULES UTILITAIRES

SOMMAIRE TECHNIQUE

Le présent sommaire technique donne, dans les quatre parties suivantes, un compte rendu détaillé de l'Étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires menée sous les auspices de la Federal Highway Administration (FHWA). La partie 1, qui trace les grandes lignes de l'étude, reprend certains extraits de la documentation technique produite sur le rapport entre la fatigue et l'occurrence de collisions; fait une synthèse de l'intérêt continu qu'a porté le Department of Transportation des États-Unis au problème de la fatigue chez les conducteurs de véhicules utilitaires; place l'étude dans son contexte historique et énonce les objectifs globaux ainsi que la méthode utilisée pour les atteindre. La partie 2 porte sur les conclusions tirées de la revue approfondie de la documentation ayant servi à la préparation de l'étude et à la formulation de ses propres conclusions et recommandations. La partie 3 présente la méthode choisie de même que les modalités de collecte de données adoptées pour l'étude, tandis que la partie 4 porte plus précisément sur les résultats, les conclusions et les recommandations.

PARTIE 1. INTRODUCTION

RAPPORT ENTRE LA FATIGUE ET LES COLLISIONS

Un communiqué émis en 1965 par l'Oklahoma Turnpike Authority (cité par Case et Hubert, 1970; Harris et Mackie, 1972)* énonçait que 22 p. 100 des 2 128 accidents survenus entre 1953 et 1964 étaient attribuables à la conduite en état de somnolence. Le communiqué mentionnait également que ces accidents comptaient pour 48 p. 100 des accidents mortels de la route. Depuis, de nombreuses autres études ont établi un lien entre les accidents de la route et la fatigue ou la baisse de vigilance chez les conducteurs.

Le National Transportation Safety Board (1995) a étudié certains cas d'accidents de camion n'impliquant pas d'autres véhicules où l'on soupçonnait la fatigue d'être à l'origine de l'accident pour déterminer le rôle de facteurs particuliers, comme les cycles travail-repos. Les paramètres de l'étude se sont ensuite resserrés pour n'inclure que les accidents où le conducteur avait survécu et pour lesquels on pouvait reconstituer les événements des 96 heures précédant leur survenue. Cinquante-huit pour cent des 107 accidents retenus avaient comme cause probable la fatigue, le reste

n'étant pas relié à la fatigue. Soixante-dix des 107 accidents s'étaient produits entre 22 h et 8 h et, de

ce nombre, environ 74 p. 100 (52 sur 70) étaient considérés comme attribuables à la fatigue. Soixante-treize pour cent des accidents survenus entre 8 h et 22 h (27 sur 37) n'étaient pas considérés comme attribuables à la fatigue. Dix-neuf des 107 conducteurs ont déclaré s'être endormis au volant.

Dans l'évaluation des résultats d'études portant sur un nombre limité d'accidents choisis selon des critères particuliers, il faut prendre garde de ne pas faire de généralisations, ni de projections pour l'ensemble des accidents. Le rapport de Haworth et coll. (1988) traite de la difficulté à définir l'importance du rapport cause à effet qui existe entre la fatigue et les collisions, en raison des jugements qu'il faut exercer dans l'interprétation des statistiques sur le contrôle de l'exposition aux risques de collision, le traitement des catégories distinctes de véhicules et de collisions, l'établissement de la méthode de collecte de données et divers autres facteurs (p. 71). Cependant, les auteurs signalent que les collisions attribuables à la fatigue peuvent avoir des conséquences plus graves que les autres et sont souvent mortelles.

Dans leur étude menée sur les conducteurs de véhicules lourds en Australie, Haworth, Heffernan et Horne (1989) ont déterminé que la fatigue (tant chez les conducteurs de voiture que les conducteurs de camion) était un facteur contributif à un nombre de collisions variant entre 9 et 20 p. 100 des accidents mortels impliquant des camions. À l'issue de la revue qu'ils ont faite des études approfondies sur le sujet, de rapports de police et de sondages auprès de conducteurs réalisés partout dans le monde, Haworth, Triggs et Grey (1988) ont conclu que la fatigue avait contribué aux accidents impliquant des véhicules articulés dans une proportion d'environ 5 à 10 p. 100 de toutes les collisions, d'environ 20 à 30 p. 100 des accidents avec blessés et d'environ 25 à 35 p. 100 des collisions avec tués. Cette proportion pourrait même atteindre les 40 à 50 p. 100 dans le cas de collisions de type particulier, comme les collisions mortelles de semi-remorque n'impliquant pas d'autres véhicules. MacDonald (1984) signale que la fatigue et la somnolence au volant sont étroitement associées aux accidents à un seul véhicule et aux collisions arrières et qu'un nombre disproportionné d'accidents de ce genre se produisait la nuit. Les accidents à un seul véhicule font plus de victimes chez les conducteurs de camion que les accidents impliquant d'autres types de véhicules.

Knipling et Wang (1994) se sont penchés sur la fréquence des collisions imputables à la somnolence/fatigue. Ils rapportent que les statistiques fournies par le General Estimates System (GES) de la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) pour la période allant de 1989 à 1993, indiquent qu'environ 1 p. 100 des rapports de collisions (de voitures et de camions) établis par les autorités policières mentionnaient la somnolence/fatigue comme facteur contributif. Selon eux, cette proportion n'est peut-être pas assez élevée pour diverses raisons : dans certains États, les rapports de police ne portent pas de case à cocher permettant d'identifier la fatigue comme la cause de l'accident; le manque de preuves sur lesquelles les autorités policières peuvent fonder leurs conclusions lorsqu'elles soupçonnent la fatigue d'être à l'origine d'un accident; les conducteurs ne sont pas toujours conscients de leur propre état de fatigue et le nombre élevé de collisions où le véhicule a dévié de sa trajectoire, mais qui ne sont pas rapportées comme étant attribuables à la

* La liste des références figure dans le rapport principal (rapport de la FHWA n° FHWA-MC-97-001, rapport de Transports Canada n° TP 12875E)

somnolence au volant. Knipling et Wang signalent que les données du Fatal Accident Reporting System (FARS) pour la période comprise en 1989 et 1993 permettent de croire que 3,6 p. 100 des collisions mortelles impliquaient la somnolence/fatigue, mais, sur ce point, ils sont également d'avis qu'il s'agit d'une sous-estimation par rapport à la réalité pour plusieurs des raisons précitées. Knipling et Wang citent également la revue de Deering (1994) portant sur 1 000 accidents rapportés par la police du Michigan. De ce nombre 1 p. 100 était attribués à la «somnolence», 17 p. 100 aux «inattentions/distractions» et 18 p. 100 aux situations où les conducteurs disent «avoir regardé, mais ne pas avoir vu». Ils ont cité également l'étude de Treat, Tumbas, McDonald et coll. (1979) qui mentionne que 56 p. 100 des collisions avaient pour cause certaine ou probable des «erreurs de reconnaissance» et ils notent que le rôle de la fatigue dans les problèmes de reconnaissance et autres erreurs mentales à l'origine de collisions n'est pas encore très bien connu.

Le rôle de la fatigue dans les cas d'accidents de la route impliquant des conducteurs de véhicules utilitaires, qui doivent souvent composer avec des horaires de travail irréguliers et de longues heures de service, est clairement défini et peut certainement s'appliquer aux automobilistes. Pour appuyer les travaux du New York State Task Force on the Impact of Fatigue on Driving, McCartt, Pack et Riborer (1995) ont mené un sondage téléphonique auprès d'un échantillon de 1 000 conducteurs choisis au hasard, représentatif de la répartition démographique de l'État de New York par groupes d'âges, par sexes et par comtés de résidence. Parmi les conducteurs interrogés, 55 p. 100 ont dit avoir conduit en état de somnolence au cours de la dernière année; 2,5 p. 100 ont déclaré avoir souvent conduit en état de somnolence, 23 p. 100 se sont endormis au volant, sans toutefois être impliqués dans une collision, 1,9 p. 100 signalent avoir été victime de collision due à la somnolence et 2,8 p. 100 signalent s'être endormis au volant et avoir été impliqués dans une collision.

On rapporte que 31 p. 100 des conducteurs ayant eu des épisodes de somnolence ne se sont pas aperçus des premiers signes de fatigue (Skipper et Wierwille, 1986). Dans leur étude, Dingus, Hardy et Wierwille (1987), concluent que l'alcool et la somnolence ayant pour effet d'affaiblir les facultés des conducteurs sont deux des principales causes d'accidents d'automobiles. On estime qu'un pourcentage assez élevé de ces accidents est attribuable au fait que les conducteurs ne sont pas conscients du degré d'affaiblissement de leurs facultés.

Malgré les écarts constatés dans les évaluations quantitatives du rôle de la fatigue dans la sécurité routière, la question de la fatigue présente certainement beaucoup d'intérêt. Bien que la somnolence/fatigue soit signalée dans une proportion relativement peu élevée des rapports de police comme facteur contributif aux accidents de camions, en réalité elle y contribue plus, justement à cause de la sous-déclaration de tels cas et des effets subtils de la fatigue sur la performance au volant. Les chercheurs sont d'avis que le rôle de la fatigue est vraisemblablement sous-estimé parce que d'autres causes d'accidents, notamment l'inattention, la distraction, le fait de «regarder, mais de ne pas voir», sont citées au lieu de la fatigue, même si ces causes peuvent résulter de la fatigue. L'examen des accidents de camions avec tués ou blessés permet de constater que la fatigue joue un rôle plus important.

INTÉRÊT SOUTENU POUR CE PHÉNOMÈNE AUX ÉTATS-UNIS

Le nombre d'heures maximum que les conducteurs de véhicules utilitaires peuvent rouler sur les routes inter-États est stipulé sous le titre 49, partie 395, du Code of Federal Regulations. Au Canada, cet aspect est régi par le règlement fédéral intitulé «Règlement sur les heures de service des conducteurs de véhicules utilitaires, 1994», SOR/DORS/94-716, du 15 novembre 1994. Le premier règlement américain fut établi en 1935 par la Interstate Commerce Commission (ICC). Le 25 avril 1938, l'ICC demanda à l'US Public Health Service (USPHS) de mener une enquête sur le nombre d'heures admissible au volant dans le commerce inter-États par camions. Ce fut la première étude scientifique sur le lien entre heures de service et fatigue au volant. L'USPHS conclut que l'imposition de limites raisonnables aux heures de service aurait vraisemblablement et tout au moins pour effet de réduire les cas de très faible performance au volant. On pouvait supposer, à juste titre, que l'établissement de telles limites serait dans l'intérêt de la sécurité routière. (Jones et coll., 1941). L'USPHS et l'ICC n'entreprirent aucune autre étude du genre. En décembre 1967, le volet Conducteurs de véhicules utilitaires du mandat de l'ICC fut transféré au Bureau of Motor Carrier Safety (devenu par la suite Office of Motor Carriers) de la Federal Highway Administration (FHWA), un organisme faisant partie du Department of Transportation (DOT) des États-Unis qui venait d'être créé.

Le DOT consacra des ressources considérables à l'étude de cette question. Dans les années 1970, 3 grandes études furent menées sur le terrain dans le but d'évaluer l'incidence des heures de service (Mackie et Miller, 1978; Harris et Mackie, 1972), de la chaleur, du bruit et des vibrations (Mackie et coll., 1974) et de l'effort physique fourni au chargement et déchargement de marchandises (Mackie et Miller, 1978) sur la vigilance des conducteurs. L'état de vigilance fut mesuré selon une méthode polyvalente intégrant des modèles de performance au volant, l'état psychophysiologique des conducteurs ainsi que des auto-diagnostics établis par ces derniers. Certains types d'accidents firent également fait l'objet d'études pour déterminer s'il existait un lien entre les heures de service et la fréquence des accidents (Mackie et Miller, 1978; Harris, 1977; Harris et Mackie, 1972). Bien que certains liens de cause à effet aient été établis, ils ne furent pas considérés comme assez concluants pour justifier l'adoption des modifications proposées en 1979 par le DOT à la réglementation sur le nombre d'heures admissible au volant. Vers le milieu des années 1980, on observa un nouvel intérêt pour l'étude du rôle de la fatigue chez les conducteurs. Un rapport présenté en 1987 par l'Office of Technology Assessment et intitulé «Gearing Up for Safety» signala que la fatigue chez les conducteurs représentait un problème sans cesse grandissant pour la sécurité routière. En vertu de la Truck and Bus Safety and Regulatory Reform Act de 1988, le Congrès mandata le DOT de mener une recherche afin de déterminer quel lien, s'il en est un, existe entre la réglementation fédérale sur le nombre d'heures admissible au volant de véhicules utilitaires, la fatigue chez les conducteurs et la fréquence d'accidents graves impliquant des véhicules utilitaires.

En novembre 1988, la FHWA organisa un symposium sur la fatigue des conducteurs de camions et d'autobus dans le but de favoriser les échanges sur ce problème et les accidents qui y sont

reliés, et de proposer divers travaux de recherche à ce sujet. Le symposium réunissait des spécialistes issus des milieux du transport routier, scientifiques et médicaux ainsi que des organismes d'application de la loi et d'élaboration de politiques de sécurité publique. L'étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs fit suite aux recommandations formulées lors du symposium.

On continue aujourd'hui de s'intéresser à la question de la fatigue des conducteurs, comme ce fut clairement démontré lors du Truck and Bus Safety Summit de 1995 parrainé par la FHWA et qui avait pour but de faire ressortir les aspects de la sécurité sur lesquels l'industrie du transport routier doit se pencher. Des représentants des nombreux volets de cette industrie et des milieux de la sécurité routière sont arrivés à un consensus formel voulant qu'il importe d'accorder la priorité à la fatigue dans l'étude des aspects ayant une incidence sur la sécurité des transporteurs routiers et que les conducteurs, les répartiteurs, les dirigeants d'entreprises de camionnage et l'OMC (Office of Motor Carriers de la FHWA) ont besoin de plus d'informations factuelles sur la fatigue ainsi que sur les facteurs qu'il est possible de contrôler pour réduire les risques associés à la fatigue (FHWA, 1995). La présente étude constitue un pas important vers l'atteinte de ce but.

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

La réglementation sur le nombre d'heures admissible au volant pour les conducteurs de véhicules utilitaires compte parmi les facteurs qui influent le plus sur la productivité de l'industrie du camionnage et, par ricochet, sur le coût des marchandises transportées par camions vers les marchés de consommation. Ces facteurs sont également de la plus haute importance pour la sécurité des opérations de camionnage, tant pour les conducteurs de véhicules utilitaires eux-mêmes que pour ceux qui partagent la route avec eux.

En 1989, lorsque l'étude fut entreprise, les milieux gouvernemental, industriel et universitaire estimaient qu'il fallait mettre en oeuvre un programme de recherche exploratoire hautement crédible (c.-à-d. valable au plan opérationnel et fiable au plan statistique) de manière à approfondir la compréhension des principaux facteurs qui provoquent la fatigue et la baisse de vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires et de l'importance qu'il convient de leur accorder.

Suite au symposium organisé par la FHWA en 1988, le DOT versa les fonds nécessaires à la réalisation des travaux de recherche prévus dans le cadre de l'étude et, en septembre 1989, un marché concurrentiel fut attribué à la Essex Corporation de Columbia, au Maryland.

En septembre 1990, un marché connexe visant la collecte et l'analyse d'un ensemble élargi de données physiologiques du même groupe de conducteurs fut accordé à la Trucking Research Institute de la ATA Foundation. Les contrats de sous-traitance liés à ces travaux furent accordés en janvier 1992. La société Essex fut chargée d'organiser la collecte des données physiologiques et d'intégrer les résultats aux données portant sur la performance au volant, tandis que Scripps Clinic and Research Foundation de La Jolla (Californie) et Miller Ergonomics de Imperial Beach (Californie) devaient se charger de dépouiller et d'interpréter ces données et de fournir des avis techniques à la société Essex.

Au cours de l'été 1993, des dispositions de partage des ressources et des coûts pour la collecte de données sur le terrain au Canada furent ajoutées à une entente de coopération conclue entre le DOT et Transports Canada. Ce dernier participait aux consultations entreprises par la FHWA depuis l'automne de 1989.

Les transporteurs routiers furent recrutés en 1991 et 1992 et les travaux de collecte sur le terrain se déroulèrent en 1993 au Canada et aux États-Unis. Pendant l'étape de collecte de données, les travaux en laboratoire de sommeil et la préparation des sujets ont été confiés à la Sleep Disorders Clinic du Deaconess Hospital de St. Louis (Missouri), pour le volet américain, et au Sleep Disorders Center of Metropolitan Toronto, de Toronto (Ontario), pour le volet canadien.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La présente étude avait pour buts premiers d'examiner quels sont les effets, sur la sécurité routière, des principaux facteurs généralement considérés comme étant à l'origine de la fatigue et de la perte de vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires; d'en déterminer l'importance relative; d'établir des liens objectifs et mesurables entre ces principaux facteurs et la performance au volant et d'isoler, en fonction des résultats de l'étude, des contre-mesures efficaces à la fatigue.

D'autres objectifs de moindre envergure avaient été fixés à l'étude, notamment : étudier la possibilité d'utiliser les données sur les conducteurs et les véhicules pour mettre au point un système de surveillance de l'état de vigilance des conducteurs de véhicules utilitaires; isoler un ensemble de données réduites qui permettrait de réaliser d'autres recherches sur la fatigue de façon plus économique à partir de données recueillies sur le terrain et présenter un ensemble de données qui pourraient servir à la validation des futures recherches sur la fatigue utilisant des simulateurs de conduite.

On souhaitait également que l'étude débouche sur des résultats scientifiques permettant de déterminer le bien-fondé d'une refonte de la réglementation actuelle sur les heures de service qui n'a subi pour ainsi dire aucun changement depuis plus de cinquante ans.

APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'étude visait à approfondir, en service payant, les facteurs que l'on considérait comme contributifs à l'apparition des symptômes de la fatigue et de perte de vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires et qui avaient un impact sur la sécurité routière. On comptait parmi ces facteurs : le nombre d'heures ininterrompues au volant (fatigue aiguë); le nombre de cycles travail-repos consécutifs (accumulation de fatigue); le moment de la journée où la conduite avait lieu

(fatigue due aux effets du rythme circadien); le nombre d'heures de sommeil par période principale de sommeil (déficits de sommeil) et la régularité des horaires de travail (effets du rythme circadien sur la

performance au volant et sur la quantité et la qualité du sommeil). Ces facteurs liés aux conditions de travail étaient importants non seulement du point de vue de la sécurité routière, mais également de la productivité de cette industrie.

La difficulté à obtenir des résultats absolus a incité les chercheurs à faire porter l'étude sur l'impact comparatif des différents facteurs de fatigue. Les contraintes de temps et d'argent ainsi que les difficultés associées au recrutement de flottes satisfaisant aux critères de sélection ont eu pour effet de limiter le nombre de facteurs pouvant faire l'objet d'un examen rigoureux. L'étude devait également être conçue de manière à ce que l'on puisse tenir compte des sujets canadiens conduisant en territoire canadien et ainsi profiter des dispositions particulières du règlement canadien sur le nombre d'heures admissible au volant. Ce faisant, on devait pouvoir établir les comparaisons souhaitées avec un groupe de conducteurs en service dans un environnement qui leur est familier. La collecte de données a donc porté sur les facteurs suivants considérés comme contributifs à la fatigue et la perte de vigilance :

Nombre d'heures ininterrompues de conduite par trajet : Des protocoles de 10 heures et de 13 heures de conduite ont été incorporés à l'étude de façon à permettre les comparaisons à l'intérieur d'un même protocole et entre protocoles représentant les nombres d'heures admissibles respectifs au Canada et aux États-Unis.

Nombre de jours de travail consécutifs : Des protocoles de quatre et cinq jours de travail consécutifs ont été incorporés à l'étude de façon à permettre les comparaisons à l'intérieur d'un même protocole et entre protocoles respectant les limites imposées par la réglementation. (Le Canada et les États-Unis ont des limites semblables en ce qui concerne le nombre d'heures de conduite admissible par semaine, mais n'ont pas les mêmes limites quant au nombre de jours consécutifs de travail, 4 jours au Canada et 5 aux États-Unis.

Moment de la journée où la conduite a lieu : Étant donné que l'étude portait sur de longues périodes de conduite, il est difficile de ne pas confondre les effets associés à la durée de la tâche et ceux associés au moment de la journée où cette tâche a lieu. Comme il est important de bien évaluer ces effets, il fallait pouvoir en arriver à des comparaisons valables malgré les facteurs de confusion. On a donc ajouté au protocole de collecte de données deux horaires distincts de travail, égaux au plan de la durée de la tâche, mais correspondant à des périodes distinctes de la journée. Dans le cas du premier horaire, où le conducteur accumulait 13 heures de conduite, le départ avait lieu vers minuit, soit proche du creux circadien à 4 h, et l'arrivée en début d'après midi, c'est-à-dire proche du pic circadien à 16 h. Pour le deuxième horaire, qui prévoyait également une période de conduite de 13 heures, le départ avait lieu vers midi, soit proche du pic circadien et l'arrivée le lendemain au début de la matinée, soit proche du creux circadien. Cette façon de procéder a permis de départager les effets associés à la durée de la tâche de conduire et ceux associés au moment de la journée où la tâche est effectuée. De plus, ces données pouvaient être comparées à un horaire de référence prévoyant dix heures de conduite de jour.

Régularité des horaires de travail : Ce facteur n'a pas été approfondi, car il aurait fallu disposer de beaucoup plus de temps et de ressources. À titre exploratoire cependant, l'étude a porté sur un protocole comprenant un horaire tournant selon lequel le conducteur prenait son service

chaque jour trois heures plus tôt que la veille, le premier départ ayant lieu tôt le matin. Ces conditions étaient considérées comme représentatives des conditions qui règnent dans un grand nombre d'entreprises américaines de transport routier grande distance ayant à composer avec des contraintes de temps. Pour minimiser les effets de confusion associés à l'irrégularité des horaires, on avait prévu des heures de départ et d'arrivée régulières pour tous les autres horaires.

Nombre d'heures de sommeil : Il a été décidé de ne pas faire de ce facteur une variable contrôlée. Étant donné que l'étude était réalisée dans un contexte opérationnel, on estimait que la manipulation de ce facteur serait contraire à la déontologie et poserait des problèmes de sécurité. Ce volet de l'étude avait pour but d'examiner la performance des conducteurs dans des conditions quasi normales : les conducteurs iraient dormir dans une chambre d'hôpital ou de motel équipée d'un lit standard et des instruments voulus pour constituer un environnement contrôlé de collecte de données. Selon le protocole adopté, les conducteurs pouvaient choisir l'heure à laquelle ils allaient se mettre au lit, mais on les informait de la nécessité de s'aménager des périodes adéquates de sommeil. Des périodes hors service conformes aux réglementations américaine et canadienne ont été prévues. Cela allait permettre de mieux comprendre les habitudes de sommeil des conducteurs en service dans des quarts de travail différents. Malgré les risques de confusion associés aux écarts possibles dans les temps de sommeil des conducteurs, on a jugé nécessaire de satisfaire au désir ardent de l'industrie de mener une étude dans des conditions s'apparentant le plus possible aux conditions réelles de travail. On considérait également que même si on contrôlait la quantité de sommeil, la variation des horaires aurait des impacts chronobiologiques sur la qualité du sommeil obtenu. Il a été décidé de laisser les conducteurs gérer eux-mêmes leur temps de sommeil et, indirectement, leur propre niveau de performance. Cependant, les périodes de sommeil allaient faire l'objet d'un contrôle continu de manière à pouvoir établir une corrélation entre la quantité et la qualité du sommeil et la performance au volant, les résultats aux tests complémentaires et les auto-diagnostics.

PARTENARIATS

Pendant la phase de planification, la FHWA a organisé plusieurs réunions de consultation technique pour écouter les différents points de vue sur les liens perçus entre les différents objectifs scientifiques de l'étude, les besoins formulés par les divers intervenants en matière de recherche, les protocoles d'expérimentations proposés et les possibilités d'appliquer ces protocoles dans les conditions réelles d'exploitation, c'est-à-dire en service payant. Des représentants de l'industrie du camionnage, des conducteurs, des responsables de l'application de la loi, des scientifiques et des spécialistes de l'élaboration des politiques ont participé à ces séances.

L'étude a été conçue et réalisée avec le concours de l'industrie du transport routier qui a participé à la phase de planification et d'où sont issus les entreprises de camionnage et les conducteurs ayant servi de sujets pour la collecte de données sur le terrain. L'étude est le fruit d'un partenariat international entre les secteurs public et privé. La Trucking Research Institute de l'American Trucking Associations (ATA) Foundation et le ministère canadien des Transports ont financé une grande partie des travaux d'acquisition et d'analyse des données ainsi que la préparation du rapport final du projet. L'ATA, le National Private Truck Council, l'International Brotherhood of Teamsters ainsi que l'Owner-Operator Independent Drivers Association ont contribué grandement par leur participation aux réunions publiques. Ces mêmes organismes, ainsi que l'Association canadienne du camionnage et l'Association canadienne du camionnage d'entreprise ont préparé le recrutement des entreprises de camionnage et des conducteurs et ont apporté l'aide technique et le soutien opérationnel nécessaires.

PARTIE 2. CONCLUSIONS TIRÉES DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Le rapport final contient un chapitre traitant de manière détaillée et approfondie du produit de la recherche documentaire entreprise dans le cadre de la présente étude. Pour faire concis, seules les conclusions de cette recherche sont données ci-après :

1. Bien qu'un pourcentage relativement faible des rapports de police concernant les accidents de poids lourds mette en cause la somnolence et la fatigue, l'importance de ces facteurs est toutefois plus grande qu'on ne le croit, masquée par le sous-dénombrement ou par la subtilité de leurs manifestations. Les cas de figure montrent que ces facteurs sont significatifs dans les accidents avec blessés et tués.
2. Bien qu'ils ne s'entendent pas tous sur la définition du terme fatigue des conducteurs, la plupart des chercheurs conviennent d'inclure dans toute définition raisonnable de cette notion les baisses de vigilance se manifestant graduellement, le niveau d'éveil physiologique ainsi que les sensations de lassitude conduisant à l'endormissement ou à un état de fatigue.
3. On attribue à la fatigue des conducteurs les conséquences suivantes :
 - phases d'inattention de plus en plus rapprochées
 - allongement du processus de traitement d'information et de prise de décision
 - lenteur croissante dans les réactions aux événements
 - pilotage de moins en moins précis et de moins en moins efficace
 - baisse dans la motivation de soutenir le niveau de performance du début

- baisse dans le niveau d'éveil psychophysique : ondes cérébrales, rythme cardiaque
 - sensation de plus en plus aiguë de somnolence ou de fatigue
 - baisse de vigilance
 - baisse dans l'état vigilant (état de préparation)
4. Les principales variables provoquant la fatigue des conducteurs sont les longues heures de conduite, le creux circadien et le déficit de sommeil. La fatigue a également été associée aux facteurs suivants :
- horaires de travail tournants
 - horaires en équipage double, un conducteur dormant pendant que l'autre roule
 - monotonie
 - conduite de nuit
 - intempéries
 - consommation d'alcool ou de substances psychotropes
 - efforts physiques s'ajoutant à la tâche de conduire
 - bruit, vibrations, chaleur
5. La recherche sur la fatigue des conducteurs fait généralement appel à des appareils pour mesurer la performance du conducteur en même temps qu'enregistrer son état de vigilance et son niveau d'éveil physiologique. Dans certains cas, les auto-diagnostics du conducteur servent d'appoint aux mesures objectives. La performance du conducteur est mesurée par rapport à la tâche principale qui est de conduire un véhicule et souvent aussi par rapport à diverses tâches secondaires. Commodes et objectives, ces dernières permettent aux chercheurs de détecter les changements dans les temps de réaction à certains signaux critiques, par lesquels se manifeste la fatigue des conducteurs. Les tâches secondaires utilisées ont été très variées, certaines avec des résultats pas toujours probants, d'autres allant jusqu'à gêner la tâche de conduire.
6. La recherche sur la fatigue des conducteurs a suivi deux grands axes : a) mesure de la baisse de vigilance et de son évolution dans le temps (ces études avaient pour objet la réglementation concernant les heures de service) et b) mesure en temps réel et à bord du véhicule du phénomène de somnolence, dans le but de réaliser des appareils de détection et d'alerte. Les deux catégories d'étude ont dégagé à peu près les mêmes variables psychophysiques et de performance du conducteur, indicatrices fidèles de l'état de fatigue.
7. Une grande partie des recherches sur la fatigue des conducteurs a été menée sur des simulateurs de conduite. Même si la simulation autorise un degré de contrôle expérimental

impossible à réaliser dans des conditions de conduite réelles, elle ne tient pas compte de certaines variables significatives, en tout cas pas de la même manière, et parfois même pas du tout. D'où l'importance de la validation en conduite réelle des observations faites sur des simulateurs.

8. Plusieurs contre-mesures visant à combattre la baisse de vigilance et la fatigue, facteurs d'accidents, sont proposées, mais peu d'entre elles ont fait l'objet de tests en conduite réelle. Ces contre-mesures appartiennent grosso modo aux deux types suivants :
 - les systèmes d'alerte : ils détectent les changements dans la performance au volant, ou les baisses dans le niveau d'éveil psychophysique, ou les deux;
 - les mesures préventives : réglementation sur les heures de conduite, périodes obligatoires de repos, sommes, formation sur les facteurs causant la fatigue des conducteurs et divers dispositifs embarqués.

9. Pour être efficaces, les moyens envisagés doivent satisfaire à certains critères importants du point de vue tant de l'exploitation que des conducteurs. Or, aucun des systèmes ou des moyens proposés n'a été formellement testé par rapport à ces critères. Les résultats d'analyses informelles montrent que, de tous les systèmes d'alerte développés jusqu'ici, aucun ne pourrait satisfaire à l'ensemble de ces critères. En revanche, on progresse maintenant vers la réalisation de dispositifs d'alerte embarqués susceptibles de satisfaire à au moins deux des critères en tête de liste, à savoir sensibilité aux symptômes indicateurs de baisse de vigilance et taux acceptable de fausses alarmes (Wierwille et coll., 1994). Mais il demeure que la mise au point de ces dispositifs d'alerte est loin d'être terminée.

PARTIE 3. DÉMARCHE D'ÉTUDE

Cette partie traite de l'approche méthodologique suivie pour la saisie des données expérimentales et elle poursuit par une description du plan de l'étude et des protocoles d'expérimentations, c'est-à-dire organisation des opérations de camionnage et caractéristiques des conducteurs. Elle décrit ensuite les techniques de collecte des données, y compris celles concernant la performance au volant, les tests complémentaires et l'état physiologique des conducteurs. Enfin, elle donne un bref aperçu des instruments de mesure utilisés, des procédures appliquées et de la base de données constituée.

APERÇU

Pour les fins de l'étude, l'état de fatigue d'un conducteur a été considéré comme résultant de longues heures de conduite dans des conditions difficiles, (c'est-à-dire heures de conduite et de sommeil ne tenant pas compte du rythme circadien naturel) et (ou) d'un déficit de sommeil. Les études sur la fatigue des conducteurs avaient pour objet l'obtention de données expérimentales permettant d'établir des rapports entre les manifestations de la fatigue des conducteurs et les éventuelles baisses de performance dans la tâche de conduire.

Les principales variables étudiées ont été 1) le nombre d'heures de conduite, 2) l'heure du début de la tâche de conduire et 3) le nombre d'heures de sommeil. Le nombre d'heures de conduite a été varié pour relativiser l'effet des heures de conduite sur la tâche de conduire. Il en a été de même avec l'heure du début de la tâche de conduire dans le but d'évaluer les effets de la régularité dans les horaires et du rythme circadien. Enfin, le nombre d'heures de sommeil a été mesuré dans le but d'interpréter l'effet produit par les heures de conduite et par le rythme circadien, mais on n'a pas cherché à imposer un nombre d'heures de sommeil particulier de façon à pouvoir observer les habitudes normales de repos des conducteurs lorsqu'ils ne sont pas en service. Le protocole d'expérimentations a été élaboré en conformité avec les réglementations canadienne et américaine sur les heures de service.

Les données ont été obtenues en service payant, sur des itinéraires que les conducteurs participants ont l'habitude de parcourir, ou pourraient être tenus à parcourir, à partir de leur base de départ. Les itinéraires empruntaient des routes à circulation libre et à accès limité, traversant des paysages plats ou vallonnés, ainsi que des routes urbaines dans les villes de départ et d'arrivée. Les différences de conditions routières entre le protocole 10 heures de conduite aux États-Unis et celui de 13 heures de conduite au Canada ont été réduites dans la mesure du possible afin de minimiser les écarts éventuels dus au tracé de la route, à la nature du terrain et au trafic du point de vue quantité et hétérogénéité. Certaines conduites ont pu avoir lieu sous de fortes averses, mais aucune dans des conditions hivernales : neige ou verglas.

Les tracteurs utilisés étaient tous de type classique et de modèle récent dans l'entreprise participante. Aucun des conducteurs n'était normalement tenu de s'occuper de chargement ou de déchargement et ils n'ont pas eu à le faire dans le cadre de l'étude.

Afin de pouvoir brosser de façon adéquate l'évolution de l'état de fatigue et de la performance au volant, il faut recourir à une panoplie de mesures, étant donné qu'aucune mesure ne saurait être meilleure qu'une autre, et aucune ne suffirait à elle seule. Pour la présente étude, on s'est servi de diverses mesures directes de la performance au volant, de mesures indirectes de la performance (au moyen de tests de substitution), de mesures de l'état physiologique, d'évaluations fondées sur l'observation visuelle des conducteurs ainsi que d'auto-diagnostics faits par ces derniers.

Idéalement, le recours à une diversité de mesures débouche sur ce qu'on appelle une validité concourante, c'est-à-dire une situation où les différentes mesures se corroborent les unes les autres. La cohérence des résultats obtenus permet de valider les différentes mesures prises individuellement

ainsi que les conclusions générales sur l'hypothèse de départ concernant l'objet de la recherche, soit la fatigue des conducteurs. Cependant, vu qu'il n'existe aucune mesure «idéale» de la vigilance et de l'état de fatigue et que les diverses mesures utilisées concernent des manifestations fondamentalement différentes de la condition étudiée (paramètres électrophysiologiques du cortex cérébral, expérience subjective, performance motrice, expressions faciales et mouvements oculaires observés), il est souvent difficile de parvenir à une validité concourante probante. Cela est particulièrement vrai dans le cas d'une étude en conditions réelles où les variables incontrôlables peuvent compromettre l'objectivité des protocoles d'expérimentation. La méthodologie adoptée comportait un contrôle de la cohérence des résultats obtenus, et tous les cas aussi bien de cohérence que d'incohérence ont été dûment consignés dans le rapport d'étude et pris en compte dans l'analyse des aspects clés de la question étudiée.

La figure 1 schématise l'ensemble du programme de saisie de données et permet au lecteur de se faire une idée des éléments en jeu et de leur interpénétration.

PLAN DE L'ÉTUDE ET PROTOCOLES D'EXPÉRIMENTATIONS

La présente étude a voulu dès le début se focaliser sur les opérations de camionnage les plus ardues dans le respect des horaires en vigueur, dans le but de mettre en évidence les comportements poussés à leurs limites mais sans outrepasser la réglementation. Les horaires ont été organisés de manière à tirer profit de la réglementation canadienne autorisant un maximum de 13 heures de conduite par jour, et à mettre en contraste les performances ainsi obtenues avec celles des conducteurs aux États-Unis où la limite est de 10 heures par jour. Le tableau 1 récapitule les principales dispositions dans ces deux pays concernant les heures de conduite. On a cherché aussi à mesurer l'effet des horaires irréguliers et de la conduite de nuit, considérés généralement comme facteurs de fatigue et d'hypovigilance.

PROTOCOLES D'EXPÉRIMENTATIONS

Le tableau 2 récapitule les protocoles d'expérimentations et traite des quatre protocoles dénommés C1-10jour, C2-10tournant, C3-13débutnuit et C4-13débutjour. Chacun de ces quatre protocoles rassemblait un groupe de 20 conducteurs différents. Le tableau 2 montre aussi le pourcentage d'heures de conduite la nuit (minuit à 6 h) à l'aller comme au retour, permettant ainsi d'établir des comparaisons dans la perspective des rythmes circadiens.

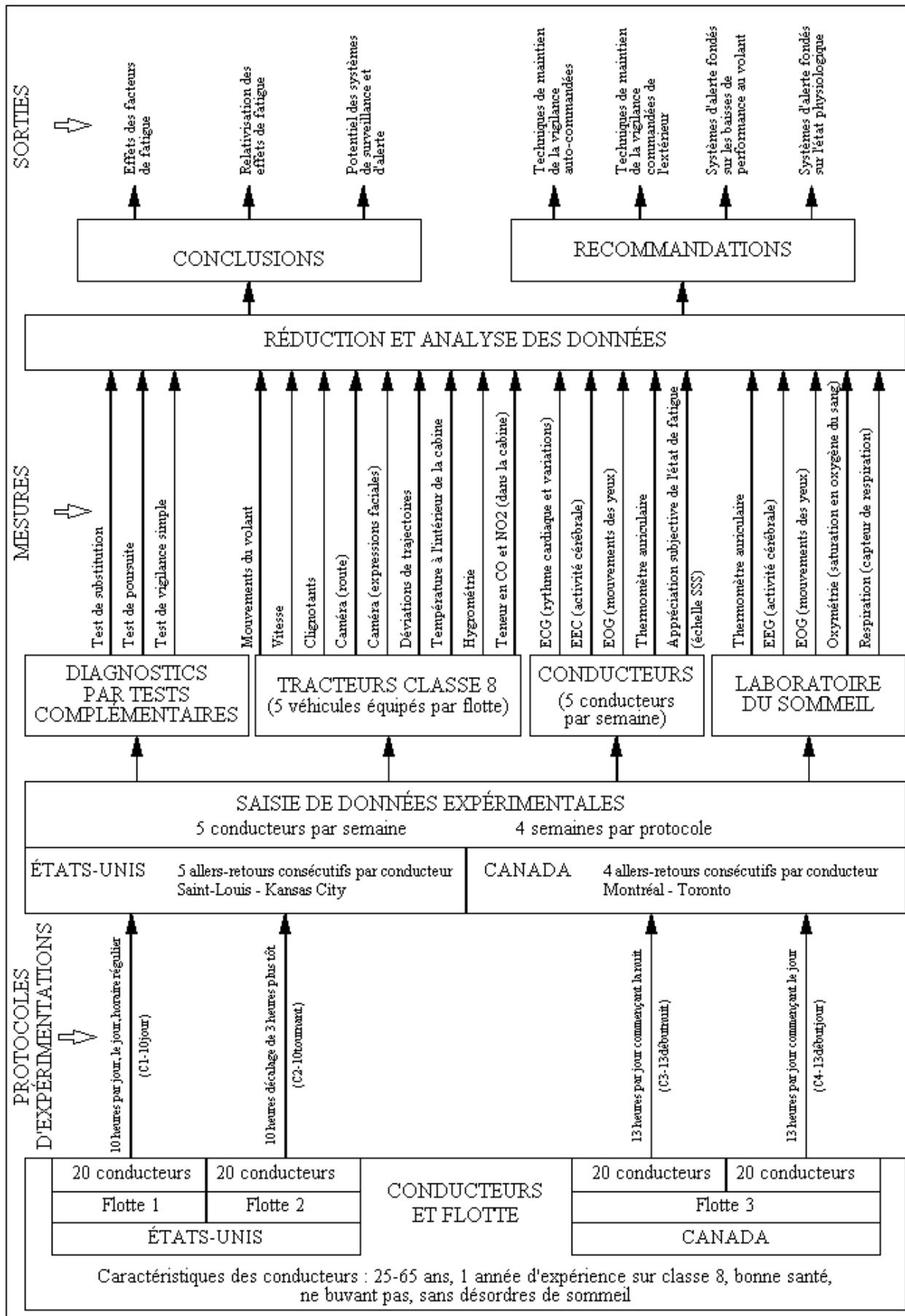


Figure 1. Programme de saisie de données et démarche d'étude

Tableau 1. Comparaison de la réglementation concernant les heures de conduite

Réglementation	États-Unis	Canada
Nombre d'heures maximum	10 heures	13 heures
Amplitude maximale	15 heures	15 heures
Temps de repos minimum	8 heures	8 heures
Nombre d'heures maximum 7 jours	60 heures	60 heures

Le protocole C1-10jour dit «de base» et le protocole C2-10tournant dit «tournant» comportaient 10 heures de conduite, conformément à la réglementation américaine. Les conducteurs respectifs ont fait ce voyage cinq fois de suite. Pour le C1-10jour, ils commençaient à peu près la même heure du matin, l'aller-retour leur prenant un peu moins que 10 heures de conduite, l'amplitude étant de 12 heures environ. C'était là le programme le moins astreignant des quatre. Pour le protocole C2-10tournant, un horaire avancé de trois heures a été adopté. Le premier jour, départ autour de 10 h, le deuxième à 7 h 30, le troisième à 5 h, le quatrième à 1 h 30 et le cinquième à 21 h le même jour.

Tableau 2. Description des protocoles d'expérimentations et pourcentage des heures de conduite la nuit (de 00 h 00 à 06 h 00)

1.	Protocole C1-10jour : 10 heures de conduite, le jour : 20 conducteurs effectuant un aller-retour de 10 heures au volant, commençant à peu près à la même heure le matin (vers 10 h du matin, en moyenne), cinq jours de suite. Pourcentage d'heures de conduite la nuit (minuit à 6 h) à l'aller et au retour : 1,6 p. 100 et 2,4 p. 100, respectivement.
2.	Protocole C2-10tournant : 10 heures de conduite, horaire tournant : 20 conducteurs effectuant un aller-retour de 10 heures au volant, commençant trois heures plus tôt par rapport au jour précédent (premier jour, départ vers 10 h du matin, en moyenne), cinq jours de suite. Pourcentage d'heures de conduite la nuit (minuit à 6 h) à l'aller et au retour : 17,7 p. 100 et 4,4 p. 100, respectivement.
3.	Protocole C3-13débutnuit : 13 heures de conduite, départ de nuit : 20 conducteurs effectuant un aller-retour de 13 heures au volant, commençant à peu près à la même heure tard en soirée (vers 23 h, en moyenne) quatre jours de suite. Pourcentage d'heures de conduite la nuit (minuit à 6 h) à l'aller et au retour : 68,1 p. 100 et 5,4 p. 100, respectivement.
4.	Protocole C4-13débutjour : 13 heures de conduite, départ de jour : 20 conducteurs effectuant un aller-retour de 13 heures au volant, commençant à peu près à la même heure l'après-midi (vers 13 h, en moyenne) quatre jours de suite. Pourcentage d'heures de conduite la nuit (minuit à 6 h) à l'aller et au retour : 2,8 p. 100 et 38,2 p. 100, respectivement.

Le protocole C3-13 début nuit comportait quatre voyages successifs de 13 heures de conduite, l'amplitude étant de 15 heures. Départ de Toronto vers les 23 h (en moyenne), prise en charge à Montréal d'une nouvelle semi-remorque et retour à Toronto. Le protocole C4-13 début jour comportait le même itinéraire que le précédent, mais le départ de Montréal s'effectuait vers les 13 h (en moyenne), prise en charge à Toronto et retour à Montréal. En tout, quatre voyages successifs.

Chaque jour, il y avait cinq départs par protocole, s'effectuant en principe à 45 minutes d'intervalle afin de permettre une mise en service convenable de chacun des véhicules.

ITINÉRAIRES

Aux États-Unis, les allers-retours se faisaient entre Saint-Louis (Missouri) (population de 2,4 millions) et Kansas City (Kansas) (population de 1,5 million), séparées par une distance de quelque 400 km (250 milles). L'itinéraire suivait surtout des autoroutes, mais il y avait des ralentissements sur les tronçons urbains de ces autoroutes. La campagne de données intéressant deux entreprises de camionnage a eu lieu du 14 juin au 22 août 1993. Quarante conducteurs divisés en huit groupes de cinq ont été mobilisés pendant 8 semaines, chaque conducteur effectuant cinq allers-retours consécutifs pendant une semaine.

Au Canada, les quarante conducteurs ont été recrutés dans une seule entreprise de camionnage. Divisés en huit groupes de cinq, ils ont été mobilisés pendant 8 semaines, chaque conducteur effectuant quatre allers-retours consécutifs Montréal-Toronto pendant une semaine. Les conducteurs du protocole C3-13 début nuit quittaient Toronto tard en soirée, alors que ceux du protocole C4-13 début jour quittaient Montréal tôt l'après-midi ou avant. La distance Montréal (population de 3,1 millions) et Toronto (population de 3,9 millions) est de 530 km (331 milles). L'itinéraire suivait surtout des autoroutes comme aux États-Unis, mais il y avait là aussi des ralentissements sur les tronçons urbains. Au Canada, la campagne de collecte de données a duré du 27 septembre au 3 décembre 1993.

VÉHICULES

Les tracteurs utilisés appartenaient tous aux entreprises participantes et étaient d'un modèle récent. Ils étaient réservés aux protocoles d'expérimentations et leur entretien durant tout le temps qu'ont duré les protocoles a été pris en charge par les entreprises en question.

La participation des entreprises s'est faite sur 4 ou 5 semaines. Elles ont chacune fourni cinq tracteurs classe 8 réguliers, équipés du matériel d'observation embarqué requis. Aux États-Unis, les deux entreprises participantes ont mis en oeuvre leur configuration standard, c'est-à-dire un tracteur à un essieu moteur, attelé à des trains doubles de 28 pieds, le tracteur étant à capot court dans le premier cas, et à capot long, dans le second. Au Canada, l'entreprise participante a mis en oeuvre sa configuration standard, c'est-à-dire un tracteur essieu tandem régulier, à capot long, attelé à une semi-remorque de 45, 48 ou 53 pieds. Étant donné que cette dernière exécutait les deux protocoles

C3-13débutnuit et C3-13débutjour, elle a mis en oeuvre les mêmes cinq tracteurs. Tous les conducteurs connaissaient à fond le fonctionnement de leur véhicule.

Il n'a pas été possible tout au long de l'étude d'utiliser la même configuration articulée afin de maîtriser les variations indésirables. Tout écart introduit par des configurations dissemblables aurait un effet sur les comparaisons inter-protocoles plutôt qu'intra-protocoles. À la lumière des narratifs obtenus, des essais sur pistes mentionnés dans les ouvrages spécialisés (MTO, 1996a; MTO, 1996b, FHWA, 1996a), et des analyses de tâches, nous estimons que de tels écarts n'ont que peu d'impact sur la présente étude qui s'intéressait avant tout aux comportements en conduite autoroutière sur des itinéraires en ligne relativement droite et sur terrain plat.

APTITUDES, RECRUTEMENT ET FORMATION DES CONDUCTEURS

Quatre-vingts conducteurs qualifiés sur véhicule utilitaire ont été mobilisés, après avoir passé les mêmes tests de sélection et de qualification.

De sexe masculin et entre 25 et 65 ans d'âge, ils avaient tous au moins une année d'expérience dans la conduite d'un tracteur classe 8, étaient en bonne santé, sans problème d'alcool ou de substances psychotropes et exempts de troubles de sommeil chroniques. Ils avaient passé un examen médical comprenant un test d'urine et de dépistage de drogues. À l'origine, on avait pensé choisir 20 conducteurs au hasard parmi un groupe beaucoup plus important, mais avec le critère de répartition uniforme entre les groupes d'âge, on s'est rendu compte que les conducteurs retenus représentaient, à chacun des sites, la quasi totalité des personnes réunissant toutes les caractéristiques voulues.

Sélection des conducteurs

Le processus de sélection a commencé par une séance générale présidée par le chercheur en chef et par des délégués de la FHWA et de TRI (Trucking Research Institute), côté américain et par des délégués de Transports Canada, côté canadien. Les conducteurs s'étaient tous portés volontaires, disposés à emprunter les itinéraires choisis, selon les horaires décidés et à dormir dans des laboratoires de sommeil. Ils avaient également accepté d'être raccordés aux appareils ECG, EEG et EOG et à passer des tests de dépistage aussi bien programmés qu'effectués au hasard.

Aptitudes des conducteurs

Qualification DOT : Les entreprises ont attesté à l'égard de chacun des conducteurs participants qu'ils se conformaient aux articles 383 et 391 de la loi 49 CFR concernant les permis, l'âge minimum, les aptitudes linguistiques, les aptitudes à conduire, l'état de santé et les antécédents judiciaires.

État de santé : Les entreprises ont attesté que les conducteurs participants relevant de chacune d'elles se conformaient aussi aux exigences de santé selon l'article 391.41 de la même loi, sur la foi d'un certificat médical conformément à l'article 391.43. Même si l'examen médical ne doit se faire en principe qu'une fois tous les deux ans, il a été quand même requis s'il était antérieur à quatre mois.

Âge : Nous avons voulu obtenir un étalement uniforme de l'âge des conducteurs à l'intérieur de quatre groupes d'âge : 25-35, 36-45, 46-55 et 56 ans et plus et dans chaque groupe formé de 20 conducteurs, soit en tout 80 conducteurs répartis sur les quatre protocoles d'expérimentations. Ces groupes ont satisfait au test de Bartlett sur l'homogénéité des variances ($\chi^2 = 5,494$, $df = 3$, $p = 0,139$), mais ANOVA fait ressortir des moyennes de groupe différentes, $F(3,76) = 5,221$, $p = 0,002$. La moyenne d'âge par groupe a été la suivante : groupe 1 = 49,0, groupe 2 = 43,8, groupe 3 = 40,3 et groupe 4 = 38,0. Le test de Tukey montre que la moyenne d'âge du groupe 1 était supérieure à celle du groupe 4 ($p = 0,002$) et à celle du groupe 3 ($p = 0,023$).

Sexe : D'après le sondage Beilock (1990), la proportion des conductrices correspond à quelque 3 p. 100 de l'ensemble. Si une seule femme avait été incluse dans chacun des quatre groupes de 20 conducteurs participants, il y aurait eu légère surreprésentation des femmes. De plus, aucune conclusion statistiquement significative n'aurait pu être tirée sur les conductrices, à moins d'inclure plus d'une femme par protocole. Par conséquent, aucune conductrice n'a été invitée à participer à l'étude.

Expérience : Les conducteurs devaient justifier d'au moins une année d'expérience récente en conduite de poids lourds, du type qu'ils seraient appelés à conduire durant la campagne.

Alcool et substance psychotropes : Les conducteurs participants étaient régis par les lois américaine (articles 392.4 et 392.5 de la loi 49 CFR) et canadienne interdisant de conduire avec des facultés affaiblies par l'alcool ou par les substances psychotropes, ainsi que par toute exigence de leur propre employeur. Un prélèvement d'urine était prévu deux fois durant la semaine où les conducteurs servaient de sujet de recherche. Le premier a eu lieu avant la première période de sommeil de cette semaine-là. Le second a eu lieu avant la seconde, troisième, quatrième ou cinquième période de sommeil, au hasard et sans préavis. Les conducteurs passaient un alcootest avant chaque voyage. Tous ces tests devaient servir à garantir contre les aberrations, dont les effets pervers risquent de fausser les résultats. Ils n'ont donné lieu à aucun rejet de données accumulées sur les conducteurs.

Consentement éclairé : Le plan de l'étude prévoyait le respect intégral de la réglementation sur les heures de service. Les conducteurs participants ont accepté les conditions dans lesquelles devait se dérouler la collecte de données, sachant qu'on leur demanderait de longues périodes de service, de conduite ou les deux, sans toutefois dépasser le nombre maximal imposé par la loi. Les conducteurs savaient qu'ils pouvaient s'arrêter et se reposer chaque fois qu'ils en sentaient la nécessité, et même qu'ils pouvaient se retirer complètement de la campagne, s'ils le jugeaient bon. Après avoir pris connaissance du document intitulé Consentement éclairé, le conducteur désireux de se porter volontaire remettait le document dûment rempli et signé, sans lequel aucune participation n'était acceptée. Ce document était par la suite revu et agréé par la FHWA et Transports Canada.

Tâches de conduite

La tâche principale incombant aux conducteurs était de conduire le véhicule articulé dûment instrumenté et chargé jusqu'à un point de retour, et de revenir au point de départ avec un nouveau chargement. Ils n'ont pas eu à s'occuper de chargement ou de déchargement. Il arrivait parfois qu'on leur demande de dételer ou d'atteler eux-mêmes leur tracteur, tâche peu contraignante physiquement et peu onéreuse en temps. Ce qui pouvait faire perdre du temps, cependant, c'était de trouver la semi-remorque qui leur était assignée.

Formation

Durant la semaine précédant le début de la campagne, les conducteurs ont dû assister à une séance de formation d'une heure et demie par jour pendant trois jours. Ils se sont exercés à s'auto-administrer trois tests de performance afin de minimiser en cours de campagne les effets parasites de la progression sur la courbe d'apprentissage.

Rémunération

Les données expérimentales ont été obtenues en service payant. Les conducteurs recevaient leur plein salaire normal de leur employeur. Étant donné que, conformément aux protocoles d'expérimentations, ils devaient passer une nuit dans un laboratoire de sommeil désigné, ce temps supplémentaire leur était payé à même les fonds du projet de recherche, de même que le temps (environ une heure et quart par voyage) pris pour s'administrer les tests de performance requis. Les salaires payés à même les fonds du projet se faisaient au taux horaire habituel.

MESURE DE LA PERFORMANCE AU VOLANT

Le but de cette recherche était de déterminer l'aptitude des conducteurs à accomplir des tâches liées à la conduite sécuritaire d'un véhicule articulé. Et puisque les données devaient être recueillies en service normal, il n'a pas été prévu de vérifier l'aptitude des conducteurs à accomplir d'autres tâches, telles que reconnaissance d'un état de danger, manoeuvres d'évitement et reprise de la maîtrise du volant après un dérapage. Les paragraphes suivants traitent des techniques qui ont servi à mesurer directement la performance au volant.

MESURE DES DÉVIATIONS DE TRAJECTOIRES

L'aptitude à maintenir une trajectoire en ligne droite ayant des conséquences directes sur la sûreté et étant donné que les recherches antérieures avaient montré le lien entre cette aptitude et la fatigue au volant, la recherche s'est attachée depuis le début à mesurer les déviations de trajectoires. On s'est servi d'un appareil conçu et fabriqué par Human Factors Research Inc., qui mesure ces déviations avec une précision supérieure à celle atteinte par des observateurs à bord (Mackie et Miller, 1978). Six exemplaires ont été fabriqués pour les besoins de l'étude.

Cet appareil repère électroniquement la trajectoire du véhicule par rapport à une ligne droite matérialisée par la bande peinte en blanc sur la chaussée. La position du véhicule est déterminée par balayage optoélectronique de la chaussée à une distance d'environ 3 m 05 (10 pieds) devant le véhicule et à angle droit par rapport au sens de la marche. Cet appareil placé sur le pavillon du véhicule, côté droit, est protégé par un boîtier résistant aux intempéries et aux agressions du milieu routier (figure 2).



Figure 2. Appareil de mesure des déviations de trajectoires placé sur le pavillon du véhicule

La caméra CCD à 256 éléments repère la position latérale du véhicule à moins de 12,7 mm (0,5 pouce) près. Cette position était enregistrée par micro-ordinateur cinq fois par seconde. La nuit, la ligne blanche était éclairée par une lampe extérieure protégée par un masque pour prévenir l'éblouissement du conducteur.

Les résultats du balayage ont été traités pour les dépouiller des moments durant lesquels l'appareil perdait contact avec la chaussée et découpés en blocs d'une minute qui ont été agrégés en blocs plus grands de 10 minutes, respectant une méthodologie prédéfinie visant à leur conserver leur

validité aux fins d'analyse. La couverture électronique de la chaussée a été de 33 p. 100 en moyenne pour les quatre protocoles. Cette couverture a été perturbée par plusieurs facteurs, dont les variations dans le contraste entre la ligne peinte et la chaussée servant de fond (lignes partiellement ou totalement effacées), la météo (la pluie produisait une réflexion qui réduisait la visibilité de la bande peinte), les conditions d'éclairage très variables le jour (le soleil frappant à un angle produisant un éblouissement sur la partie de la chaussée balayée par l'appareil) et l'éclairage artificiel, la nuit. Cependant, connaissant les caractéristiques optoélectroniques de l'appareil, l'échantillonnage obtenu a été jugé suffisant pour permettre de tirer des conclusions dignes de confiance. Par ailleurs, il n'y avait aucune raison de croire qu'un échantillonnage réduit ou augmenté modifierait les valeurs calculées d'écart type. À l'appui de ce jugement, le fait que la corrélation entre l'écart type des valeurs obtenues et le nombre des échantillons aptes à l'analyse dans chaque bloc de dix minutes n'est pas statistiquement significatif (Pearson $r = -0,01$, $p = 0,14$).

MESURE DES MOUVEMENTS DU VOLANT

L'analyse des mouvements du volant est depuis longtemps le moyen favori des chercheurs pour apprécier le comportement des conducteurs (Harris et Mackie, 1972), eu égard au fait qu'il permet de déterminer directement la trajectoire du véhicule et que les résultats sont faciles à enregistrer.

Pour mesurer ces mouvements, on a utilisé un servopotentiomètre monotour de précision, accouplé à la colonne de direction par une courroie crantée. La position angulaire du volant était mesurée par ordinateur 20 fois par seconde, avec une résolution angulaire d'environ un degré.

MESURE DE LA VITESSE ET DE LA DISTANCE

Les écarts de vitesse ne sont pas un aussi bon indicateur d'état de fatigue que les déviations de trajectoires. De toutes façons, la plupart des véhicules utilisés pour la recherche étaient équipés d'un régulateur de vitesse. Les écarts de vitesse n'ont donc pu servir comme indice d'état de fatigue. Cependant, comme on disposait d'une masse d'information sur la vitesse des véhicules et la distance parcourue, on s'en est servi 1) pour éliminer automatiquement les segments de données basse vitesse et donc peu intéressantes pour l'analyse des paramètres sensibles à la vitesse du véhicule (mouvement du volant et déviations de trajectoires, par exemple); 2) pour faciliter l'analyse et l'interprétation des données électrophysiologiques (EEG) en déterminant avec précision l'heure et le lieu correspondants et 3) pour localiser avec précision certains endroits de l'itinéraire de façon à pouvoir tenir compte du tracé de la route dans l'analyse des données sur les mouvements du volant et les déviations de trajectoires.

Les distances ont été obtenues de l'odomètre électronique des véhicules. On exploitait soit les signaux produits par le générateur tachymétrique de la boîte de vitesse, soit le signal d'excitation du solénoïde entraînant l'odomètre mécanique.

DIAGNOSTICS PAR TESTS COMPLÉMENTAIRES

On se sert des tests complémentaires pour déterminer dans quelle mesure l'état dans lequel se trouve un conducteur lui permet d'effectuer les tâches de conduite qui lui incombent. Par des tests complémentaires judicieux, le conducteur est amené à mettre en oeuvre des processus psychophysiologiques identiques à ceux auxquels il doit faire appel lorsqu'il se trouve au volant de son véhicule.

Pour la présente recherche, une batterie de tests complémentaires a été mise en oeuvre, à savoir le test de substitution, le test de poursuite et une variante du test de Wilkinson et Houghton (1982) appelée Unprepared Simple Reaction Time Test et que nous appellerons ici test de vigilance simple. Ces tests ont été retenus pour les raisons suivantes : ils ont déjà servi pour des études sur la fatigue et l'hypovigilance; ils permettent d'obtenir des appréciations diagnostiques sur l'état psychomoteur et cognitif, dans une plage suffisamment étendue de mesures; sous forme de logiciel, on pouvait les charger dans le micro-ordinateur placé à bord des véhicules pour la saisie des données expérimentales et enfin ils ne prenaient pas plus de 20 minutes à administrer.

TEST DE SUBSTITUTION

Le conducteur est invité à appuyer sur une touche portant le nombre affecté à la lettre affichée sur l'écran, en se référant à une matrice de correspondance entre lettres et nombres également affichée à l'écran. Ce test permet de diagnostiquer le processus de traitement de l'information, la vitesse de perception, la rapidité de la recherche visuelle et la vitesse de sélection d'une réponse.

TEST DE POURSUITE

Il permet un diagnostic rapide et très sûr de la coordination psychomotrice. Des algorithmes complexes font aller et venir de façon aléatoire une aiguille le long d'un axe horizontal affiché sur un écran d'ordinateur. Le conducteur est invité à manoeuvrer le volant, relié à l'ordinateur par un engrenage et un servopotentiomètre, de façon à garder l'aiguille au centre de l'écran. Cette épreuve devient de plus en plus ardue à mesure que se répète le test au rythme d'une fois par 30 secondes. Le degré de difficulté correspondant au moment précis où le sujet rate le test est indicatif du temps de réponse perceptivo-motrice, de la coordination oeil-main. À l'occasion d'études antérieures, ce test s'est révélé sensible au degré de fatigue au volant et à l'heure du jour (effet circadien) (Mackie et Miller, 1978).

TEST DE VIGILANCE SIMPLE

Ce test est remarquablement simple à mettre en oeuvre. Il consiste à faire apparaître sur un écran un stimulus visuel sous la forme de trois zéros «000» qui, dès son affichage, commence à

égrener les secondes. Le sujet doit appuyer sur un bouton dès l'apparition du stimulus. Aussitôt le compte s'arrête et le décompte est affiché pendant une seconde et demie avant de disparaître. Après un temps d'arrêt entre 1 et 10 secondes, le stimulus réapparaît et on recommence. D'après Wilkinson et Houghton (1982), la durée optimale de ce test est de 10 minutes. Cette durée a été retenue pour notre recherche. D'après ces mêmes chercheurs, peu de tests sont capables de faire ressortir l'effet du stress et produisent cet effet après seulement un apprentissage court. Ils fournissent des indices de la capacité du test à faire ressortir l'effet stressant de plusieurs des contraintes exerçant une influence sur le niveau d'éveil. Ce test permet de vérifier la capacité d'une personne à réagir aux occurrences semi-aléatoires relativement rares de stimuli répétitifs dans un contexte ennuyant.

ADMINISTRATION DE LA BATTERIE DE TESTS

Les conducteurs devaient s'auto-administrer cette batterie de tests quatre fois par jour pour le groupe conduisant 10 heures par jour, et trois fois pour celui qui conduisait 13 heures par jour (la quatrième avait été annulée dans leur cas parce qu'elle faisait déborder sur le nombre d'heures maximal admissible). Les tests avaient lieu avant chaque voyage, au point de retour et enfin à l'arrivée à destination. Ceux du groupe de 10 heures (protocoles C1-10jour et C2-10tournant), faisaient un test supplémentaire, avant de quitter le point de retour, dans le but de déterminer si la pause à cet endroit entraînait une récupération quelconque.

Aucune pause ne devait avoir lieu entre les trois tests de la batterie de tests. Le test de substitution prenait trois minutes, le test de vigilance simple, dix minutes et les cinq test de poursuite, de trois à cinq minutes en tout. La batterie de tests prenait donc près de 18 minutes au total, y compris le temps de préparation (mise en place du clavier et du bouton-poussoir, vérification de la position initiale du volant, entrée du code d'identification individuelle, lecture des instructions). À chaque séance, l'ordre des tests était changé de manière ordonnée, dans le but de minimiser l'effet de l'accoutumance.

Les tests se faisaient sur le micro-ordinateur de bord qui affichait les stimuli visuels sur un écran VGA 9 pouces, enregistrait les réponses, transformait ces réponses en unités de mesure et stockait le tout en vue de leur téléchargement en amont. Les résultats étaient enregistrés sous forme de fichiers-textes ASCII transférés sur disquettes 3 1/2 po, chaque jour.

ENREGISTREMENTS VIDÉO DU VISAGE ET DE LA ROUTE

Tout au long du chemin, des caméras vidéo enregistraient d'une part les expressions faciales du conducteur et d'autre part, la route. La caméra pointant sur la route a servi dans l'appréciation des événements marquant le chemin parcouru. Elle a permis aussi aux chercheurs d'apprécier la position du véhicule par rapport à la route, en même temps qu'elle donnait un aperçu sur le vif des conditions routières et de la circulation. Cette caméra placée à l'intérieur de la cabine et pointant au travers du

pare-brise restituait à peu de choses près le même panorama que celui observé par le conducteur. Sa photosensibilité était suffisante pour permettre des enregistrements de nuit. L'autre caméra, placée sur le tableau de bord était dirigée vers le conducteur dont elle filmait les expressions faciales. Une lampe infrarouge fournissait un éclairage suffisant dans le proche infrarouge, visible par la caméra mais pas par le conducteur (figure 3). Le panorama de la route s'insérait électroniquement dans une partie du champ de vision de cette caméra, c'est-à-dire dans le tiers inférieur de l'image produite par celle-ci.



Figure 3. Caméra dirigée vers le conducteur et lampe infrarouge

Vu le très grand volume des enregistrements vidéo, seuls des échantillons d'une durée de quelques minutes étaient visionnés à intervalles d'à peu près 1/2 h. Ils faisaient alors l'objet d'une appréciation de la part d'examineurs ayant la formation voulue. Ceux-ci remplissaient un formulaire en 50 points (le Formulaire Video Detail Record Form) concernant le panorama de la route et l'image du visage du conducteur. Ils devaient par exemple déterminer et consigner si le conducteur semblait «somnolent». Cette technique avait déjà donné de bons résultats, lorsqu'elle avait servi à effectuer des appréciations diagnostiques lors de simulations de recherche sonar (Wylie et coll., 1988). Wierwille et coll. (1994, 1995) ont analysé des diagnostics établis à partir d'enregistrements vidéo, et avaient trouvé que ces appréciations étaient justes.

Le chercheur en chef passait environ une heure avec les examineurs des enregistrements vidéo d'un groupe de conducteurs pour leur expliquer les procédures à suivre dans l'échantillonnage, l'examen et l'appréciation des enregistrements, en insistant plus particulièrement sur l'état de somnolence. À titre d'exemple, plusieurs échantillons vidéo ont été visionnés en groupe, appréciés et répétés jusqu'à ce que les réponses des examineurs aient fini par concorder. Les symptômes tels que paupières à demi fermées ou se refermant lentement étaient observés avec soin, eu égard à leur importance comme signes patents de l'apparition de la somnolence. Les examineurs étaient à l'affût d'autres signes également : «paupières lourdes», «clignements d'yeux ralentis», «hochements de

tête», «yeux fermés durant ___ secondes» et «bâillements». Le chercheur en chef procédait à des sondages périodiques durant les séances de visionnement. À posteriori, on peut dire avec confiance qu'un état de somnolence déclaré correspondait à un état de somnolence effectif, dans une gamme allant de légère à prononcée, mais la plupart du temps médiane.

Le visionnement d'un segment de 6 minutes par 30 minutes d'enregistrement vidéo autorisait une estimation non biaisée du taux de prévalence de la somnolence, mais il révélait relativement peu de données sur la durée des périodes de somnolence. Ce paramètre (nombre consécutif de périodes montrant des signes de somnolence) était jugé intéressant des points de vue physiologique et ergonomique comme tels, mais aussi en raison de l'hypothèse voulant que les périodes prolongées de somnolence (et une fréquence élevée de courtes périodes de somnolence ou les deux) s'accompagnent d'un risque accru. En effet, à chacune des périodes de somnolence correspond une combinaison distincte de facteurs (temps-lieu-état du conducteur) susceptibles d'entraîner un accident. Même s'il n'y pas eu d'accident, on ne peut pour autant infirmer ni vérifier l'hypothèse posée.

Pour pallier cet état de choses, une fois le visionnement par échantillonnage terminé, les chercheurs ont entrepris de visionner à nouveau chaque cas de somnolence ainsi que les 30 minutes précédant et suivant chaque occurrence. Ils ont rempli le formulaire en 50 points pour chaque tranche de six minutes de l'heure encadrant les cas de somnolence observés à l'étape de l'échantillonnage.

MESURES PHYSIOLOGIQUES

TEMPÉRATURE CORPORELLE

En période de veille, la température corporelle a été mesurée périodiquement (habituellement toutes les deux heures) sur la membrane tympanique, à l'aide d'un thermomètre auriculaire à infrarouges (Thermoscan Inc., San Diego, Californie). Pour obtenir toutes les mesures dont nous avons besoin, nous avons élaboré une procédure appropriée et appris aux conducteurs à prendre et à noter leur propre température.

L'organisme est assujéti à de nombreux rythmes circadiens. En ne mesurant que la température corporelle, on a un aperçu limité du degré de synchronisation qui existe entre l'organisme et les signes temporels externes. Cette seule mesure ne fournit aucune information sur les dissociations qu'il peut y avoir entre les différents rythmes. Toutefois, elle nous a permis de déceler des cas où des conducteurs participant au projet n'étaient pas en synchronisme avec le cycle jour-nuit.

ÉVALUATION POLYSOMNOGRAPHIQUE PENDANT LE SOMMEIL

Pour calculer le temps de sommeil des sujets de l'étude, nous avons utilisé la technique la plus reconnue parmi les spécialistes de la recherche sur le sommeil. Nous avons effectué des mesures électro-encéphalographiques continues conformément aux méthodes définies par Rechtschaffen et Kales (Rechtschaffen et Kales, 1968) et appliquées plus particulièrement dans le contexte de la polysomnographie (Guilleminault, 1982). Nous avons besoin de ces mesures parce que, dans toute étude sur la fatigue des travailleurs, il faut noter non seulement le moment de la journée où le travail se fait, mais aussi le temps de sommeil des travailleurs avant chaque période de travail. Outre les effets circadiens bien connus, et en particulier celui de la tendance accrue au sommeil pendant la période de sommeil habituelle comprise entre 23 h et 7 h (Broughton, 1975; Richardson et coll., 1982), le nombre d'heures de sommeil qu'une personne a eues au cours des 24 à 48 heures précédentes est le principal déterminant de la tendance au sommeil pendant une période de veille prévue (Carskadon et Dement, 1981; Rosenthal et coll., 1993).

Pendant cette étude, tous les sujets ont dormi dans des chambres confortables situées le plus près possible de la route choisie. Le branchement initial des sujets avant leur premier épisode important de sommeil en laboratoire s'est fait, de 60 à 90 minutes avant le coucher, dans une pièce servant expressément à cette fin et située à côté des chambres. Des électrodes d'étain Oxford ont été utilisées pour enregistrer un EEG central et occipital, un EOG latéral (canthi externes), un EMG du menton (muscle sous-mentonnier), le débit respiratoire (thermisteur nasal), l'effort respiratoire et la saturation en oxygène du sang artériel (SaO₂, à l'aide d'un capteur au doigt). Le branchement pour le principal épisode de sommeil consécutif au premier déplacement consistait à remplacer les sondes mal fixées ou fonctionnant mal et à replacer les capteurs utilisés pour les mouvements du thorax, le débit respiratoire et la SaO₂. Les montages d'enregistrement sont illustrés au tableau 3. Le placement des électrodes (canaux 1-5) permettait le captage de signaux adaptés à la méthode de cotation polysomnographique normalisée (Rechtschaffen et Kales, 1968). Pendant le sommeil, les canaux 5-7, alliés à une lecture oxymétrique au bout des doigts, ont permis d'évaluer les apnées du sommeil.

Chaque enregistrement d'EEG/EOG/EMG était examiné par un technicien ayant une formation en polysomnographie. La cotation a été faite par rapport à des périodes de 30 secondes, conformément à la méthode normalisée de Rechtschaffen et Kales (1968). On a assuré l'uniformité entre les cotations des différents techniciens en recotant certains enregistrements au hasard, en discutant en groupe des cas difficiles et en faisant réexaminer les données par un médecin agrégé de l'American Board of Sleep Medicine. Les scores admissibles pour les EEG étaient ceux qui figurent dans le tableau 4.

Le technicien vérifiait sur les sorties de l'oxymètre s'il y avait des signes importants d'apnée du sommeil. Les cas des conducteurs manifestant des anomalies respiratoires prononcées pendant le sommeil étaient signalés à l'un des enquêteurs qui, à son tour, avisait les conducteurs des anomalies constatées et leur conseillait en privé de subir un examen médical. Si l'on observait chez un conducteur une apnée du sommeil significative sur le plan clinique, des spécialistes de l'apnée cotaient tous ses enregistrements en période de sommeil.

Tableau 3. Placement des électrodes et des capteurs pour le sommeil et la conduite

Les sites centraux (C), auriculaires (A) et occipitaux (O) des électrodes étaient conformes à ceux qui sont décrits dans le système International 10-20 (Jasper, 1958). La dérivation canthus externe gauche-canthus externe droite (CEG-CED) a été décrite, par exemple, par Osselton (1974).

Canal	Sommeil	Conduite
1	C ₄ -A ₁	C ₄ -A ₁
2	O ₁ -A ₂	O ₁ -A ₂
3	CEG-CED	CEG-A ₂
4	C ₃ -A ₂	CED-A ₁
5	EMG-EMG (menton)	C ₃ -A ₂
6	Mouvements du thorax	---
7	Débit d'air par la bouche/le nez	---
8	ECG	---
Indifférent	C _z	C _z

Tableau 4. Cotation manuelle des EEG, effectuée par des polysomnographistes en conformité avec les méthodes de Rechtschaffen et Kales (1968)

Score	Signification
M	Artéfacts dus aux mouvements; signal inutilisable
W	Veille; signal utilisable
1	Stade 1
2	Stade 2
3	Stade 3
4	Stade 4
R	Stade du sommeil paradoxal

ÉVALUATION POLYSOMNIGRAPHIQUE PENDANT LA CONDUITE

Nous avons identifié les périodes pendant lesquelles le camion circulait et que le polysomnographiste cotait sur l'EEG, suivant les méthodes de Rechtschaffen et Kales, comme présentant des signes de sommeil (stades 1, 2, 3, 4 ou sommeil paradoxal). Cette analyse a été provoquée par l'observation qu'O'Hanlon et Kelley (1977) ont faite d'épisodes manifestes de sommeil de stade 2 et d'activité delta dans les EEG de deux conducteurs circulant sur l'autoroute. Nous voulions savoir s'il y avait ou non des incidents semblables dans notre base de données.

Après avoir rallumé la lumière, à la fin d'un épisode de sommeil principal, on retirait les capteurs de la respiration et de la SaO₂ et l'on vérifiait la stabilité et l'impédance des sondes qui restaient. On modifiait les raccordements du montage pour produire les canaux indiqués au tableau 3, en prévision de l'épisode de conduite suivant.

On s'est servi de périodes de 20 secondes pour l'analyse des EEG en période de veille. Cette durée a été choisie en fonction des résultats d'analyses d'EEG faites par Mackie et Miller (1978). C'est également une durée qui est utilisée dans l'évaluation clinique du sommeil. L'information de l'évaluateur humain sur le stade de sommeil de Rechtschaffen et Kales (1968) (voir tableau 4) pour chaque enregistrement de 20 secondes a été rattachée selon une échelle de temps aux segments pendant lesquels le camion roulait à une vitesse égale ou supérieure à 45 mi/h.

Nos techniciens savaient que les données des EEG en période de conduite étaient associées à une période de travail du conducteur et que celui-ci avait fait des sommes après avoir stationné son camion. Ils étaient cependant incapables - et c'était voulu - de déterminer pendant l'évaluation si le camion roulait ou non. Quand le personnel sur le terrain signalait des sommes, les polysomnographistes n'étaient toujours pas certains de l'heure exacte du début et de la fin de ces sommes. Ainsi, les polysomnographistes ignoraient la vitesse des camions pendant presque toute la période d'évaluation. Cette procédure en aveugle était un élément prévu de l'évaluation initiale destiné à empêcher que les polysomnographistes soient indûment influencés par la connaissance des mouvements du véhicule.

EEG QUANTITATIF (EEGQ) PENDANT LA CONDUITE

En plus des analyses des données d'EEG recueillies pendant la conduite, on a effectué des analyses d'EEG quantitatif. En raison de la nature expérimentale du travail en cause, ni les conclusions ni les recommandations de ce rapport n'ont été fondées sur l'analyse des EEGQ. Ces analyses et les résultats et conclusions respectifs ont, cependant, été décrits dans une annexe au rapport de l'étude et ils pourront servir pour des recherches futures.

TONUS VAGAL

En cours de conduite, l'électrocardiogramme de la dérivation II a été extrait de la dérivation CR-5 (Blackburn, 1969; Simonson, 1971) par le moniteur de tonus vagal (Instrumentation for Medicine, Greenwich, CT). On s'est servi d'électrodes auto-adhésives du type utilisé pour les épreuves ECG à l'effort.

À la date de rédaction de ce rapport, les données sur le tonus vagal se trouvaient toujours sous forme brute, et on n'avait pas pu les examiner à fond pour les raisons suivantes. Premièrement, ces données étaient considérées avoir une valeur potentielle moins grande que les autres mesures physiologiques pour l'ensemble de l'enquête. On a perdu bien des données à cause de défauts des électrodes sur le terrain. Deuxièmement, nous avons découvert, par le biais d'études distinctes effectuées après que la collecte des données pour ce projet-ci eut commencé, que le moniteur de tonus vagal permettait davantage de distinguer une activation brève du comportement dans un contexte de faible activation que de distinguer différents niveaux de faible activation (Miller et coll., 1992; Miller, 1994). Sous ce rapport, il y avait une certaine ressemblance avec le réflexe électrodermal. Nous avons

estimé que les données physiologiques des polysomnographies et des EEGQ permettraient mieux de distinguer, par exemple, le passage d'un état de veille détendue à un état de somnolence. Enfin, la quantité de travail qu'il aurait fallu pour réduire et analyser les données des EEGQ et des détecteurs de tonus vagal dépassait de beaucoup ce que l'on prévoyait de consacrer à cette tâche dans le cadre du projet.

INFORMATIONS PERSONNELLES

QUESTIONNAIRES ET FICHES JOURNALIÈRES

La première fois qu'ils se présentaient au laboratoire de sommeil, les conducteurs étaient invités à répondre à un questionnaire en 70 points sur leurs habitudes de sommeil et leur état de santé. De même, ils devaient remplir un questionnaire au début et à la fin d'une période de repos. Ils ont également consigné dans une fiche journalière les activités de chaque journée de travail : arrêts, conditions routières et météorologiques, événements marquants, repas. Ils consignaient aussi dans une fiche séparée leur température corporelle donnée par un thermomètre auriculaire.

AUTO-DIAGNOSTICS DE FATIGUE

De nombreuses échelles d'évaluation de l'état de fatigue ont été élaborées et appliquées avec succès dans divers domaines, y compris celui du camionnage (Mackie et Miller (1978)). Pour la présente étude, on s'est servi de l'échelle Stanford mise au point par Hoddes et coll., 1973 (tableau 5 ci-dessous).

Tableau 5. Échelle Stanford de mesure de l'état de vigilance/fatigue

Échelle	Définition
1	Frais et dispos; esprit vif, très éveillé
2	Dispos, mais pas dans une forme optimale
3	Esprit reposé, assez vif, assez éveillé
4	Esprit un peu confus, pas très en forme, lent
5	Esprit confus; veut s'abandonner au sommeil; très ralenti
6	Somnolent; voudrait s'étendre pour dormir
7	État de torpeur, au bord du sommeil; difficulté de garder les yeux ouverts

Les conducteurs établissaient un auto-diagnostic sur leur état de vigilance ou de fatigue selon cette échelle, cinq fois en 24 heures, tous les jours où ils participaient à l'étude : avant et après chaque principale période de sommeil, avant d'entamer un voyage, à l'arrivée au point tournant et avant de quitter celui-ci, et enfin à la fin d'un voyage.

AMBIANCE CABINE

CHALEUR, BRUIT ET VIBRATIONS

Mackie, O'Hanlon et McCauley (1974) ont montré l'influence de la chaleur sur la performance au volant. Dans la cabine, les grandeurs de température sèche, de température de rayonnement et d'humidité relative de l'air ont été mesurées par des capteurs Omega modèle HX93 reliés directement à l'ordinateur d'acquisition de données. Celui-ci les convertissait en indices de température humide de globe et les comparait à l'échelle NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) pour en tirer des facteurs de contrainte thermique.

Cette même étude a montré que les bruits et les vibrations ont un effet moins nocif que la chaleur sur la performance au volant, mais qu'ils peuvent avoir des répercussions pathologiques à la longue. Les auteurs déclaraient que les résultats de leur étude «confirment globalement le fait que des conducteurs assis sur des sièges de conception appropriée, à coussin d'air, par exemple, n'éprouvent qu'à l'occasion des niveaux vibratoires supérieurs aux valeurs limites d'exposition pour la baisse de performance au bout de 8 heures consécutives au volant». Dans la présente étude, les niveaux sonores et vibratoires n'ont pas été enregistrés.

QUALITÉ DE L'AIR

Dans leur étude de 1977 visant les gaz toxiques présents dans les cabines des véhicules utilitaires, Ziskind et coll. montrent que les niveaux de NO₂ sont parfois assez élevés pour devenir inquiétants. Bien que l'équipe de recherche avait estimé que les répercussions pathologiques à long terme étaient plus inquiétantes que les baisses ponctuelles de performance au volant, la décision a néanmoins été prise de mesurer la qualité de l'air dans les cabines.

On s'est servi de dosimètres individuels Leak-Tec pour contrôler la teneur en NO₂ et CO dans les cabines. Ces dosimètres comportent un papier sensible remplaçable qui change de couleur selon la teneur du gaz contrôlé.

INSTRUMENTS EMBARQUÉS

ORDINATEUR D'ACQUISITION DES DONNÉES

Les grandeurs provenant des capteurs mesurant les déviations de trajectoires et les mouvements du volant ainsi que d'autres appareils étaient enregistrées au moyen d'un micro-ordinateur embarqué. Celui-ci permettait aux conducteurs d'effectuer les tests complémentaires (de substitution, de poursuite et de vigilance simple) dans la cabine même, éliminant le risque d'un effet éventuel de «réveil» se produisant pendant que le conducteur se rend au laboratoire de sommeil.

Il permettait aussi d'alerter le conducteur si jamais il oubliait de brancher le câble ECG avant de démarrer. La figure 4 montre le schéma de principe des instruments embarqués.

BOÎTIERS

La plupart des appareils étaient placés dans une armoire d'appareillage électronique, installée à la place du siège passager dans chacun des cinq tracteurs fournis par les entreprises participantes. Un sixième ensemble servait de réserve. L'armoire comportait un ventilateur sur bâti pour le refroidissement, un coffret d'interface capteurs sur glissières, un panneau de transformateur, un ordinateur capteurs et un ordinateur tonus vagal et une étagère supportant le magnétoscope à cassettes, le séparateur vidéo et un modem d'enregistrement des chronocodes. L'ensemble pesant 82 kg (180 lb) environ était retenu à la plate-forme de montage au plancher par 6 fixations souples qui amortissaient les chocs et les vibrations.

ALIMENTATION

L'alimentation était assurée par un groupe électrogène à essence portable de marque Honda EM1600X fixé, côté droit, au longeron de cadre du châssis, derrière la cabine.

ASSURANCE DE LA QUALITÉ DES ENREGISTREMENTS

Devant la complexité des équipements et des procédures visant la saisie et l'analyse des données concernant les conducteurs et les véhicules, des essais préliminaires furent menés durant cinq jours en juillet 1992 dans le but de contrôler le fonctionnement de l'équipement intégré et de vérifier que les méthodes de saisie et d'analyse permettaient d'obtenir des données de la qualité voulue.

À mesure que l'on passait d'un protocole d'expérimentations au suivant, les chercheurs devaient déménager leur base d'opération à l'un des quatre terminus désignés par les entreprises participantes. Ils y équipaient les cinq tracteurs de l'instrumentation appropriée mis à disposition par ces dernières et ils en apprenaient le maniement aux conducteurs. Il a fallu embaucher à contrat, à chaque endroit, six chercheurs adjoints et 2 électroniciens.

Pour chacun des conducteurs et pour chacun de leurs allers-retours, des listes de contrôle ont été préparées indiquant horaires, points tournants et données. Ces listes indiquaient en outre les travaux d'entretien et de dépannage qu'il fallait mettre en oeuvre pendant que les tracteurs étaient appropriés pour le voyage suivant. Les listes de contrôle se sont révélées utiles au moment de l'analyse des données, les observations qui y figuraient venant éclairer tel ou tel aspect des activités analysées.

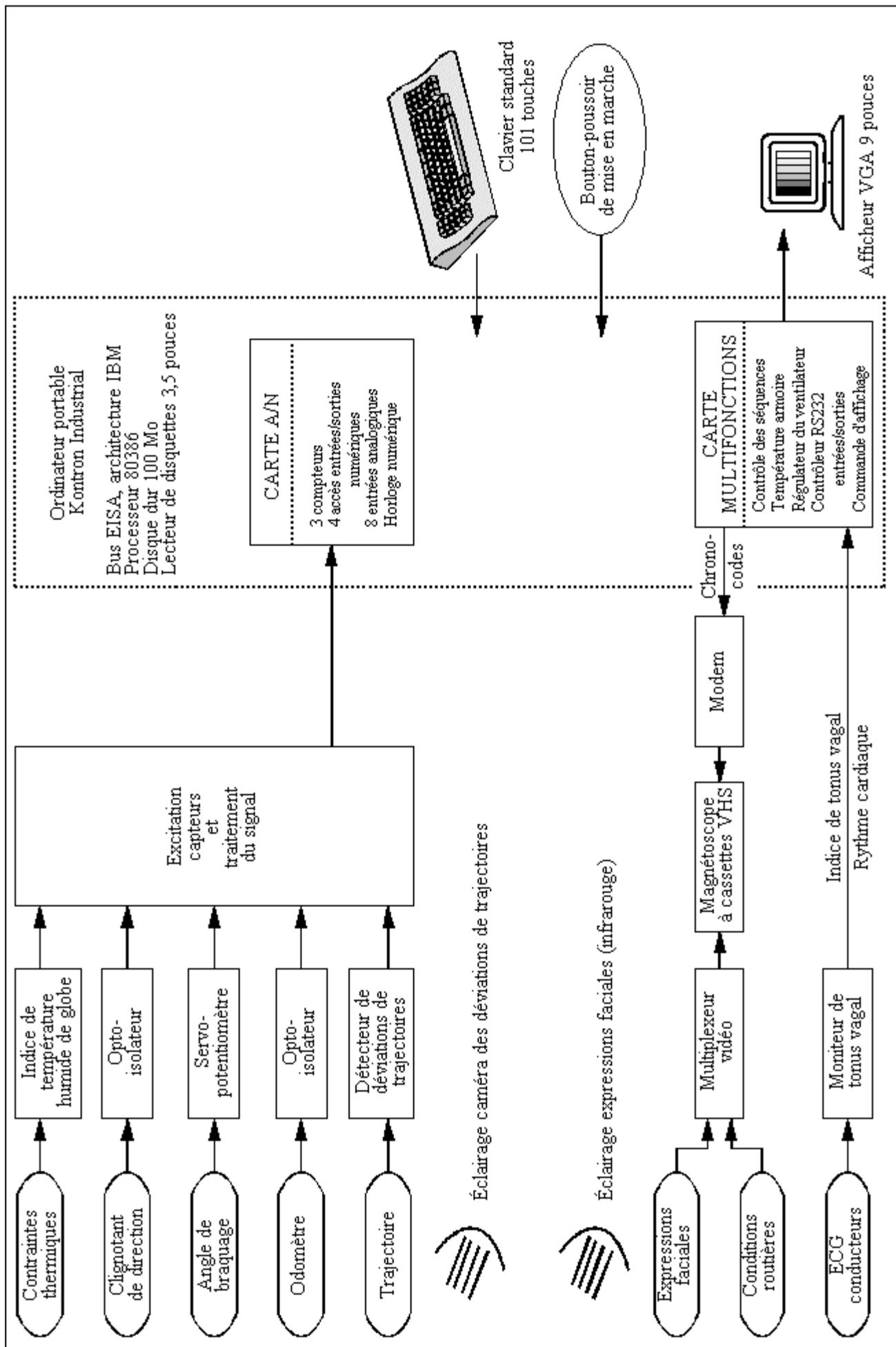


Figure 4. Schéma de principe des instruments embarqués



Figure 5. Vue d'ensemble des instruments embarqués

BASE DE DONNÉES

Les données recueillies portent sur plus de 200 000 milles de route; elles comprennent 4 000 heures d'enregistrements vidéo, 9 000 heures de mesures physiologiques (rythme cardiaque, mouvements oculaires, respiration et ondes cérébrales) et 700 mégaoctets d'enregistrements numériques en temps réel. Dans le cadre des quatre protocoles d'expérimentations, il y a eu 360 allers-retours et 400 périodes principales de sommeil. Les données récoltées ont été de bonne qualité, compte tenu des conditions difficiles de saisie : véhicule roulant 800 km (500 milles) par jour aux États-Unis et plus de 1 160 km (662 milles) par jour au Canada. L'équipe de recherche estime avoir récolté entre 1 600 et 2 400 mégaoctets d'information formant la base de données sommaire.

Le tableau 6 présente les paramètres descriptifs de la base de données brutes récoltée, dont la réduction a permis d'obtenir la base de données figurant au tableau 7.

L'intention des rédacteurs du présent rapport était d'archiver cette information pour pouvoir la mettre à la disposition des chercheurs intéressés. Toutefois, la méthodologie et les détails n'ont pas été définis encore.

Tableau 6. Fiche technique de la base de données brutes récoltées

SOURCE	SUPPORT	NOMBRE	QUANTITÉ
Enregistrements vidéo	Cassettes VHS T-120 aux É.-U. T-160 au Canada	720	4 000 heures
Enregistrements paramètres de fonctionnement véhicules	Disquettes HD 3,5 po	500	700 mégaoctets
Enregistrements physiologiques	Disques optiques 940 mégaoctets	45	9 000 heures
Questionnaires, auto-diagnostic	Papier	966	483 jours conducteurs

Tableau 7. Base de données après réduction de l'information brute

SOURCE	MÉTHODE DE RÉDUCTION	RÉSULTATS	TAILLE
Vidéo	1 minute sur 30	Fichier SGBD Paradoxe™	14 697 formulaires à 50 champs
Ordinateur de bord	Épuration	Fichier SYSTAT™ à code d'identification	560 mégaoctets sur 1 disque optique
Ordinateur de bord	Blocs de 1 minute	Fichier SGBD Paradoxe™	335 mégaoctets sur 335 000 fichiers
Physiologie du sommeil	Notation manuelle R-K	Hypnogrammes	Fichiers-textes ASCII 14 mégaoctets
Physiologie : aptitude à conduire	Analyse spectrale des résultats	Fichier SGBD Paradoxe™	Événements marquants
Questionnaire, résultats	Transfert de données	Fichier SGBD Paradoxe™	4 mégaoctets

PARTIE 4. RÉSULTATS, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette partie débute par une synthèse des principaux résultats relatifs aux temps de repos, aux périodes de sommeil, aux sommes et aux tests physiologiques; à la somnolence au volant au vu des enregistrements vidéo des expressions faciales; à la somnolence au volant au vu des tests physiologiques; à la mesure de la performance au volant et au pilotage du véhicule; à la performance aux tests complémentaires; à l'importance relative des facteurs de fatigue; aux méthodes de recherche et à la base de données.

À partir de ces résultats, une série de conclusions générales est tirée, mettant ces résultats en rapport avec divers facteurs déterminants concernant la fatigue au volant des conducteurs de véhicules utilitaires, c'est-à-dire : effets du rythme circadien; nombre d'heures au volant; accumulation de la fatigue au fil des jours; besoins quotidiens de repos; qualité et quantité de sommeil obtenu; horaires de service et différences observées sur le plan de la fatigue, de la somnolence au volant, des sommes, de l'effet des pauses mi-voyage, des auto-diagnostics de fatigue, des susceptibilités individuelles, des apnées du sommeil, de la corrélation entre l'âge et la fatigue; contre-mesures à la fatigue et utilité et limites des tests d'aptitude à la tâche de conduire constatées au cours de l'étude.

Cette partie se termine par un ensemble de recommandations sur les contre-mesures à la fatigue respectant la taxinomie dégagée de la recherche documentaire : contre-mesures que les conducteurs utilisent pour se maintenir en état de vigilance ou mises en place par les agents extérieurs; dispositifs d'alerte fondés soit sur la performance au volant, soit sur les mesures physiologiques.

Les horaires mis en place dans le cadre des protocoles d'expérimentations sont donnés dans le tableau 2, auquel le lecteur est renvoyé pour mieux comprendre ce qui suit.

SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

TEMPS DE REPOS

- Il a été observé que la variabilité du temps total de repos (temps entre la fin d'un voyage et le début du voyage suivant) pour les quatre protocoles s'explique en grande partie par les activités post-voyage, c'est-à-dire temps de déplacement vers le laboratoire de sommeil, repas et contacts sociaux. Certains conducteurs ont préféré accorder plus de temps à ce type de contacts, alors que d'autres ont préféré aller dormir.
- L'écart entre le temps total de repos et le temps des activités post-voyage constaté entre les quatre protocoles provient essentiellement de la différence des horaires dans le protocole C1-10jour et selon les trois autres.
- Les conducteurs assujettis aux protocoles C2-10tournant, C3-13débutnuit et C4-13débutjour ont eu, en moyenne, quelque 8,6 à 8,9 heures consécutives de repos (après défalcation du temps exigé par le protocole d'expérimentations), comparativement à environ 10,7 heures pour ceux du protocole C1-10jour. Un examen attentif, cas par cas, des notes prises par les techniciens du laboratoire de sommeil et ceux affectés aux points de départ et d'arrivée des conducteurs pourrait déboucher pour tous les protocoles sur des estimations quantitatives détaillées concernant les diverses activités qui empiètent sur les temps de repos.

- Les protocoles d'expérimentations ont été établis de manière à ne jamais déroger aux dispositions des règlements sur les heures de service. Les conducteurs -- tous s'étaient portés volontaires pour participer à l'étude -- ont été appelés à exécuter certaines tâches prévues au protocole qui empiétaient quelque peu sur leur temps de repos. S'il faut considérer ce temps comme du «temps en service», alors les conducteurs ont eu droit, dans 88 p. 100 des cas, au moins à la période minimum de repos stipulée. Si l'on considère ce temps comme du «temps hors service», alors ce pourcentage monte à 97 p. 100.

SOMMEIL, SOMMES ET TESTS PHYSIOLOGIQUES

- La présente étude a mis en oeuvre les protocoles standard des laboratoires de sommeil. Selon les questionnaires remis par les conducteurs et les bases de données polysomnographiques tirées des ouvrages publiés, il ne semble pas que ces protocoles aient influencé la physiologie du sommeil chez les conducteurs, ni la qualité ou la quantité de sommeil qu'ils ont eu.
- Pour les quatre protocoles, l'écart entre le temps de sommeil que les conducteurs ont déclaré leur être nécessaire et le temps passé au lit a été de 1,97 heure, en moyenne. (Dans le questionnaire sur les habitudes de sommeil, les conducteurs devaient compléter l'énoncé suivant : «J'ai besoin de ___ heures de sommeil pour me sentir bien reposé.»).
- Les conducteurs selon le protocole C3-13débutnuit ont passé 262 minutes (4,37 heures) au lit par principale période de sommeil, soit beaucoup moins (entre 40 et 85 minutes de moins) que pour les trois autres protocoles. Le protocole C3-13débutnuit exigeait des conducteurs qu'ils commencent leur voyage tard en soirée pour ne revenir au point de départ que dans l'après-midi du jour suivant.
- Les enregistrements polysomnographiques des principales périodes de sommeil font état de latences du sommeil faibles (laps de temps avant de sombrer dans le sommeil), de faibles interruptions du sommeil (brèves périodes de réveil pendant le sommeil) et d'une efficacité élevée du sommeil (presque pas de période de réveil au lit). Les chiffres correspondants cadrent bien avec le temps passé au lit observé et avec la quantité de sommeil obtenue. En outre, les interruptions de sommeil ont été d'une durée relativement courte par rapport aux valeurs considérées comme normales et leurs valeurs cadrent avec le temps en moins passé au lit et le temps de sommeil. Exception faite du faible nombre d'heures consacré au sommeil, la qualité du sommeil observé chez les conducteurs a été plutôt bonne, c'est-à-dire normale du point de vue physiologique et hypnologique.

- Les techniques cliniques standard de diagnostic polysomnographique, oxymétrique et de ventilation pulmonaire ont montré que seulement 2 (2,5 p. 100) des 80 conducteurs avaient le syndrome d'apnées du sommeil. Les apnées du sommeil sont des arrêts involontaires de la respiration dont l'effet est de perturber le sommeil, de causer un déficit du sommeil et de la somnolence au travail. Ces deux conducteurs plutôt âgés et appartenant au protocole C1-10jour ont eu de 10 à 30 arrêts respiratoires par heure de sommeil.
- Il n'y avait rien qui puisse justifier la mise à l'écart des enregistrements polysomnographiques relatifs à ces deux conducteurs et leur exclusion de l'analyse hypnologique. Le nombre total d'heures de sommeil ainsi que les variables de la structure hypnologique de leur sommeil n'ont différé en rien de substantiel de celles des autres conducteurs du protocole C1-10jour. Les enregistrements ont donc été soumis au processus d'analyse.
- Les niveaux moyens de somnolence selon l'échelle Stanford montrent clairement les fluctuations circadiennes d'éveil et de somnolence normalement observées sur une durée de 24 heures. Pour les quatre protocoles et pour les groupes d'âge, il n'a eu aucun écart systématique ou se prêtant à une interprétation aisée, par rapport aux niveaux moyens de somnolence selon l'échelle Stanford.
- Sur les 80 conducteurs participants, 35, soit 44 p. 100, ont fait un somme, prolongeant de 27 minutes le temps consacré au sommeil par jour, pour une augmentation de 11 p. 100 de la durée moyenne du sommeil quotidien.
- La décision de prendre un somme était souvent précédée par une phase de somnolence observée sur les enregistrements vidéo. Il semble donc qu'il s'agit là d'une contre-mesure faisant suite à un besoin de sommeil ressenti par le sujet.

SOMNOLENCE AU VOLANT AU VU DES ENREGISTREMENTS VIDÉO

Les enregistrements vidéo continus des expressions faciales des conducteurs et du panorama routier observé par ceux-ci ont été échantillonnés à intervalle d'une demi-heure et visionnés. Ils ont fait l'objet d'une appréciation sur les conditions routières et sur l'apparition des symptômes de fatigue, fondée notamment sur la position des paupières. Lorsqu'on notait des signes de somnolence, on visionnait à nouveau chaque cas de somnolence ainsi que les 30 minutes précédant et suivant chaque occurrence, soit au total 10 épisodes de six minutes. La prévalence et la durée des symptômes de somnolence au volant a pu être ainsi déterminée. Par prévalence, on entend la proportion d'épisodes de conduite en état de somnolence dans un laps de temps donné.

- On a relevé 1 989 épisodes de six minutes montrant des signes de somnolence (198,9 heures de «somnolence» sur 4 080 heures de conduite au total représentent 4,9 p. 100, soit la limite inférieure de la prévalence moyenne sur l'ensemble des enregistrements réalisés). De ces épisodes, 1 646, soit 82 p. 100, ont eu lieu entre 19 h et 6 h 59.
- La prévalence moyenne observée des symptômes de somnolence pour les quatre protocoles et selon la période du jour se manifestait le plus fortement durant les huit heures précédant l'aube, constatation qui cadre avec plusieurs autres études sur les effets du rythme circadien.
- La fréquence des épisodes multiples de somnolence (épisodes consécutifs) est très bien décrite par la densité de probabilité exponentielle ($R^2 = 0,92$). Plus les épisodes multiples étaient longues, moins ils se produisaient fréquemment. Le nombre minimum d'épisodes était de 1 de même que le nombre dominant (mode); la médiane s'établissait à 4 épisodes de 6 minutes (soit 24 minutes), la moyenne à 6,44 et la valeur maximum à 37 (soit 3,7 heures).
- Près des deux tiers des conducteurs ont montré des symptômes de somnolence sur au moins un échantillon d'enregistrement vidéo. Cependant, 11 d'entre eux (14 p. 100) ont cumulé plus de la moitié (54 p. 100) de tous les épisodes de somnolence observés. En d'autres termes, certains des conducteurs ont connu, dans le cadre de la présente étude, plus d'épisodes de somnolence que d'autres. Comme l'observation des sujets a été limitée dans le temps, il est impossible de déterminer si les différences constatées s'expliquent par les traits caractéristiques des conducteurs (c.-à-d. des différences durables sur le plan de la physiologie et/ou de la performance) ou par des états transitoires (c.-à-d. des différences ponctuelles expliquées par la nature du repos obtenu peu avant ou par d'autres facteurs isolés). Naturellement, on peut affirmer que les deux variables explicatives peuvent avoir joué. Il y aurait lieu de mener des recherches complémentaires pour départager l'influence des deux variables. Si l'hypothèse privilégiant l'influence des traits caractéristiques était vérifiée, la voie serait ouverte sur la possibilité, par exemple, de mettre au point des épreuves de sélection permettant de repérer les conducteurs ayant la plus grande résistance à la fatigue.
- Aucune différence n'a été constatée dans la prévalence de la somnolence observée sur les enregistrements vidéo pour les segments de voyage comparables en conduite diurne de 10 ou de 13 heures. Ainsi en conduite de 13 heures, aucun effet négatif n'a été observé sur la vigilance en conduite diurne, malgré le nombre plus élevé d'heures au volant, contrairement à ce que l'on attendait.

- La prévalence de la somnolence au volant a été plus élevée durant les voyages 4 et 5 du protocole C2-10tournant (comparativement aux voyages 1, 2 et 3), peut-être parce que ce protocole exigeait que la plus grande partie des voyages 4 et 5 se fasse la nuit. Le rythme circadien et le cumul de fatigue ont probablement joué dans ce cas, mais le facteur déterminant semble être la période du jour.
- La prévalence de la somnolence était nettement plus élevée dans les protocoles C3-13débutnuit et C4-13débutjour durant les voyages de nuit. On croit savoir qu'elle est surtout due au fait que la courbe du rythme circadien était alors à son plus bas, bien que le déficit de sommeil ait probablement aggravé cet effet. L'effet de la conduite nocturne par rapport à la conduite diurne n'a pas été pris en compte pour le protocole C1-10jour par rapport au protocole C2-10tournant, d'abord parce que le premier ne comportait pas de conduite nocturne et ensuite parce que le second ne comportait qu'une faible proportion de conduite nocturne.
- Il y a eu 600 fois plus de minutes d'enregistrements vidéo montrant des cas de somnolence au volant que de minutes d'enregistrements polysomnographiques typiques de la somnolence, les premiers se révélant plus aptes à détecter les symptômes de somnolence au volant que les méthodes polysomnographiques. Ces dernières peuvent avoir révélé un état hynographique différent et peu fréquent, auquel on a donné le nom de somnolence - PSG au volant. Cependant, les différences observées peuvent être le résultat de la sensibilité propre à chacune de ces deux méthodes pour la détection de la somnolence au volant.

SOMNOLENCE AU VOLANT D'APRÈS LES TESTS PHYSIOLOGIQUES

Les enregistrements polysomnographiques ont mis en évidence deux voyages distincts, faits par des conducteurs différents (incidence d'environ 0,6 p. 100 des voyages étudiés, et d'environ 2,5 p. 100 des conducteurs observés) durant lesquels ont été observés plusieurs épisodes intermittents d'activité cérébrale étiquetée comme étant des cas de somnolence - PSG au volant. Ni l'un ni l'autre des conducteurs en question ne souffrait d'apnée du sommeil. Ces épisodes ont totalisé un peu plus que 19 minutes sur les 244 667 minutes (environ 4 000 heures) d'enregistrements polysomnographiques en cours de conduite, soit 0,008 p. 100.

- Dans le premier cas (protocole C3-13débutnuit), la somnolence s'est manifestée une première fois durant 60 secondes et une seconde fois durant 20 secondes, commençant environ 2 h 3 min et 4 h 18 min, respectivement, à compter du début du dernier voyage aller de la semaine, soit à 02 h 24 et à 04 h 38. Des signes de fatigue aiguë ou cumulée ont été observés durant les périodes de sommeil précédente et suivante. Les enregistrements vidéo montrent des symptômes de somnolence légère dans ces deux cas. Ce conducteur était âgé d'une vingtaine

d'années. L'heure à laquelle ces épisodes se sont produits a coïncidé avec le point bas de la courbe circadienne caractérisant les conducteurs appartenant à ce groupe.

- Dans le second cas (protocole C4-13débutjour), la somnolence s'est manifestée de façon intermittente pendant 29 minutes, commençant vers 10 h 15 min à compter du début du premier voyage aller de la semaine, vers 23 h 23. Aucun signe de fatigue aiguë ou cumulée n'a été observée durant les périodes de sommeil précédente et suivante. Les enregistrements vidéo montrent des symptômes de somnolence durant ces épisodes et deux cas où le véhicule s'était déporté dans une autre voie, les yeux du conducteur étant restés fermés pendant au moins six secondes. Ce conducteur était âgé d'une trentaine d'années. L'heure à laquelle ces épisodes se sont produits a coïncidé avec le point bas de la courbe circadienne caractérisant les conducteurs de ce groupe.
- Les épisodes de somnolence - PSG au volant du premier conducteur (observés au début du dernier voyage de la semaine, protocole C3-13débutnuit) se sont manifestés d'une façon que l'on pourrait attribuer à la fatigue aiguë ou cumulée détectée durant les périodes de sommeil précédente et suivante, aggravée par une courbe circadienne au point bas.
- Les épisodes de somnolence - PSG au volant du deuxième conducteur (observés vers la fin du premier voyage de la semaine, protocole C4-13débutjour) ne se sont pas manifestés d'une façon que l'on pourrait attribuer à de la fatigue aiguë ou cumulée. Cependant, ces épisodes ont coïncidé avec une courbe circadienne au point bas, aggravé peut-être aussi par le nombre d'heures au volant et (ou) par un autre facteur inconnu.

PERFORMANCE AU VOLANT ET PILOTAGE DU VÉHICULE

Pour atténuer l'incidence des variations attribuables aux conditions imposées par la route, on a ajusté les variations de l'angle en défalquant la variation moyenne tous conducteurs confondus associée à chaque mille de route.

Les déviations de trajectoires ont été déterminées par un dispositif mesurant la distance entre le côté droit du véhicule et une ligne droite matérialisée par la bande peinte en blanc sur la chaussée.

- Les variations dans les mouvements du volant sont fortement et durablement influencées par les circonstances liées à route; il faudra les ajuster en conséquence avant de pouvoir en apprécier le plein potentiel comme indicateur de la fatigue au volant.
- Après ajustement pour tenir compte des circonstances liées à la route, les variations observées dans les mouvements du volant durant les épisodes de somnolence au volant confirmés par vidéo pour le groupe C3-13débutnuit et C4-13débutjour ont été plus grandes que durant les épisodes de non somnolence. Ces variations pour les groupes C1-10jour et C2-10tournant

n'ont pas été analysées en raison du peu de cas de somnolence détectés parmi ces groupes. Il faudra également analyser la densité spectrale de puissance des mouvements du volant et les cas de contre-braquage afin d'en apprécier leur potentiel comme indicateurs de fatigue au volant et de baisses de vigilance.

- Les déviations de trajectoires ont été systématiquement plus évidentes pour les groupes de 13 heures de conduite que pour ceux de 10 heures. La raison de cet état de choses n'est pas tout à fait claire vu les nombreux facteurs de confusion liés au tracé de la route et aux caractéristiques des véhicules. Seule une analyse plus approfondie des données recueillies, et surtout des enregistrements vidéo, permettra d'en dégager les vraies raisons.
- La somnolence au volant (confirmée par enregistrements vidéo) intervient comme un facteur explicatif des déviations de trajectoires observées chez les quatre groupes de conducteurs, mais elle n'a été statistiquement significative que chez les groupes C1-10jour et C13-13débutnuit. Il avait été postulé que la somnolence au volant serait responsable d'un accroissement des déviations de trajectoires. Grâce aux enregistrements vidéo, on sait maintenant que c'est bel et bien le cas. On en conclut que les déviations de trajectoires constituent un indicateur valable de la performance au volant et que la somnolence au volant est à l'origine de ce phénomène.

RÉSULTATS AUX TESTS COMPLÉMENTAIRES

Les trois tests complémentaires ont permis d'obtenir quatre mesures de performance : (CS, RVS, LAPSES et CTT). Le test de substitution (CS) mesurait le nombre de réponses justes par seconde. Le test de vigilance simple (SRVT) donnait le temps médian de réaction à un stimulus aléatoire d'où ont été tirées deux résultats a) notation de vigilance RVS qui est la réciproque de la latence médiane de réponse pour toutes les réactions et b) pertes de vigilance, c'est-à-dire le nombre d'absences mentales durant plus de 500 millisecondes. Le test de poursuite (CTT) : valeur médiane de la valeur critique d'instabilité (à laquelle le sujet ne parvient pas à rattraper l'erreur affichée) des cinq tests CTT par séance. L'imposante quantité de données tirées des tests de performance a permis de cerner par des appréciations statistiques fiables la manifestation de certains effets très subtils.

Les groupes de conducteurs du protocole 10 heures (C1-10jour et C2-10tourant) ont effectué cinq allers-retours et quatre séries quotidiennes de tests. Les groupes de conducteurs du protocole 13 heures (C3-13débutnuit et C4-13débutjour) ont effectué quatre allers-retours et trois séries quotidiennes de tests. Le nombre de voyages était déterminé par la réglementation en vigueur concernant le nombre d'heures maximum au volant. Les groupes de 13 heures n'ont effectué que trois séries de tests à cause des contraintes d'horaire associées aux plus grandes distances parcourues et aux règlements sur les heures de service.

- Les résultats du test de substitution montrent une amélioration graduelle due à l'effet de la pratique, sont plus élevés chez les conducteurs les plus jeunes et meilleurs en conduite diurne que nocturne.
- Les fortes améliorations observées d'un voyage à un autre sont le résultat de gains d'habileté de la part des conducteurs des quatre protocoles.
- Malgré l'amélioration graduelle attribuable à l'effet de pratique, les scores au test de substitution ont régressé d'un voyage à l'autre pour les protocoles C1-10jour, C2-10tournant et C4-13débutjour. Pour les conducteurs du protocole C3-13débutnuit cependant, les résultats ont été meilleurs à la fin des voyages puisque les tests antérieurs avaient été administrés au creux circadien de ce groupe. Chez ce groupe, les effets circadiens l'emportent sur les effets du nombre d'heures au volant. Les tests de substitution semblent être sensibles aux changements de comportement qui accompagnent couramment la fatigue et la perte de vigilance aiguës.
- Les groupes des protocoles 10 heures de conduite ont été plus performants que ceux des protocoles 13 heures, et les améliorations ont été plus évidentes au cours des trois premiers allers-retours. Ce résultat peut être expliqué par la fatigue croissante chez les groupes des protocoles 13 heures.
- Les résultats RVS montrent une dégradation soutenue chez les conducteurs des quatre protocoles. Les résultats étaient plus faibles à la fin des voyages qu'au début pour les protocoles C2-10tournant, C3-13débutnuit et C4-13débutjour. La dégradation des résultats provient d'une latence croissante dans les réponses, due au caractère aigu de la fatigue. Les résultats RVS se sont révélés sensibles à la fatigue résultant aussi bien du nombre d'heures au volant que du total cumulatif de voyages, malgré la tendance observée vers une dégradation en conduite diurne, malgré une variable dérangeante non contrôlée, et malgré les lacunes dans les données recueillies.
- Les résultats RVS ont été meilleurs chez les groupes des protocoles 13 heures que chez ceux des protocoles 10 heures. Les résultats ont cependant été entachés par les variations dans les niveaux d'éclairement caractérisant les protocoles 10 et 13 heures. Malgré la présence d'une variable dérangeante, soit les niveaux d'éclairement non contrôlés, il demeure que ce test simple révélait les baisses de performance au cours d'un voyage et d'un voyage à l'autre.
- Chez les deux groupes des protocoles 10 heures, les pertes de vigilance ont augmenté à mesure que s'accumulaient les voyages. Chez le groupe des protocoles 10 heures horaire tournant, les pertes de vigilance ont été en général plus nombreuses en fin de voyage qu'au

début, phénomène ne se manifestant pas chez les deux groupes des protocoles 13 heures. Cette absence de variation dans le nombre de pertes de vigilance provient peut-être des variations non contrôlées dans l'intensité du stimulus lumineux, c'est-à-dire le rapport de contraste de l'écran cathodique.

- Il y a eu plus de pertes de vigilance chez les groupes des protocoles 10 heures que chez ceux des protocoles 13 heures, résultat peut-être de la plus grande durée d'ensoleillement durant les horaires 10 heures que durant les horaires 13 heures, et de l'éblouissement plus intense masquant l'écran dans le premier cas. Cet éblouissement constitue un artéfact dû à la variation non contrôlée des niveaux d'éclairage ambiant lors de l'administration des tests.
- Chez les groupes des protocoles 10 et de 13 heures, le test de poursuite n'a pas permis de montrer des changements statistiquement significatifs dus à la période du jour, au nombre d'heures au volant ou au nombre cumulé de voyages.
- Le test de vigilance simple, facile à exécuter, permet de tirer deux mesures : résultats RVS et pertes de vigilance et promet d'être le meilleur prédicteur des baisses de vigilance dues à l'accumulation de la fatigue. Ce test s'est révélé en outre sensible aux fluctuations dans l'état d'éveil et dans les aptitudes psychomotrices, fluctuations caractéristiques de la baisse de vigilance et de la fatigue.
- Seul le test de substitution a mis en évidence un effet de récupération au bout des 54 minutes de repos au point tournant du voyage chez les groupes des protocoles 10 heures, les autres tests n'ayant pas réussi à montrer un effet statistiquement significatif. Chez les groupes des protocoles 13 heures, une telle appréciation n'a pas pu être faite parce que les conducteurs de ces deux groupes n'étaient pas tenus de se soumettre à la batterie de tests avant de reprendre le volant au point tournant.
- Chez tous les conducteurs, une corrélation faible a été observée entre la performance aux tests complémentaires et les auto-diagnostics de niveau de somnolence selon l'échelle Stanford.

HIÉRARCHISATION DES FACTEURS DE FATIGUE

Pour relativiser l'effet de facteurs tels que le nombre d'heures au volant, le nombre de jours de service et la période du jour sur la somnolence au volant, les déviations de trajectoires, la performance aux tests complémentaires et la quantité de sommeil obtenue, on s'est servi d'une mesure d'association non paramétrique selon laquelle la hiérarchisation des résultats de mesures ne se fera que par rapport à une échelle ordinale. Ce qui veut dire qu'on se contentera de hiérarchiser les valeurs mesurées conformément à l'hypothèse admise, sans préciser leur endroit exact sur l'échelle. On obtient par là une méthode robuste permettant d'apprécier une valeur d'après le degré de son

association (échelles hiérarchisées) à tel ou tel critère sélectionné, par ex., somnolence confirmée sur vidéo, déviations de trajectoires, etc.

Un modèle mathématique a été élaboré, décrivant les effets du rythme circadien observés sur les enregistrements vidéo des protocoles C3-13débutnuit et C4-13débutjour, et fondé sur le cycle à deux maximums sur 24 heures proposé par Mitler (1990) et réalisé dans le cadre d'une étude antérieure sur le sommeil, la mortalité et les erreurs humaines. Des calculs paramétriques ont permis d'ajuster la courbe correspondante aux données tirées de la présente étude, après quoi on a vérifié la justesse de ce calage. Ce modèle a permis de corroborer l'importance relative des facteurs précités par rapport à la somnolence observée.

- À la conduite nocturne (de minuit à l'aube) sont associées les performances les plus faibles selon quatre critères importants (sommolence, déviations de trajectoires, test de substitution et durée du sommeil). L'heure à laquelle s'effectue le voyage s'est révélée un meilleur prédicteur des baisses de vigilance que le nombre d'heures au volant ou que le nombre cumulatif de voyages, qui, eux, ont eu peu ou pas d'effet sur ces critères.
- Le contenu des auto-diagnostics cadre très mal avec les résultats objectifs selon les quatre critères ci-dessus. On a noté une forte corrélation avec le facteur du nombre d'heures au volant et avec le total cumulatif de voyages, mais une corrélation faible avec le pourcentage d'heures en conduite de nuit. Les auto-diagnostics ne sont pas de bons prédicteurs de la somnolence au volant, à cause du fait qu'ils reflétaient plus un état de stress croissant ou un effort compensatoire qu'un état réel.
- Le modèle mathématique fondé sur un rythme circadien 24 h à deux pics a donné une très bonne corrélation avec la prévalence des cas de somnolence au volant observés sur les enregistrements vidéo pour les protocoles C3-13débutnuit et C4-13débutjour. La raison de cette corrélation a été attribuée à la forte influence observée des effets circadiens sur la prévalence de la somnolence. Le modèle est un prédicteur utile de la somnolence au volant observée dans le cadre de la présente étude, parce qu'il permet d'obtenir des estimations continues, sans à-coups et pour n'importe quelle période du jour. Il pourrait devenir aussi une aide à la formation et à l'organisation des horaires de travail.
- Ni le temps écoulé depuis l'heure du départ ni le total cumulatif de voyages n'ont eu un effet sensible sur la justesse des estimations obtenues du modèle circadien pour ce qui concerne les cas de somnolence au volant dans les protocoles C3-13débutnuit et C4-13débutjour. Il s'ensuit que la période du jour est le facteur déterminant dans la somnolence au volant.

- Le temps écoulé depuis l'heure du départ est un facteur jugé important du fait de la forte corrélation avec les auto-diagnostics, même si ces derniers cadrent très mal avec les résultats objectifs de l'étude. On a conclu que les auto-diagnostics reflètent un état de stress croissant ou un effort compensatoire qui signalent un état de fatigue ou une baisse de vigilance et qui indiquent une chute dans la motivation et l'aptitude des conducteurs à rester vigilants jusqu'au bout du voyage (Brown, 1994; Dinges et coll., 1994).

MÉTHODOLOGIE ET BASE DE DONNÉES

- La présente étude a montré qu'il était possible de mener une recherche sur le terrain faisant appel à un grand nombre de conducteurs de véhicules utilitaires (80), effectuant de nombreux allers-retours (360) en service payant, et d'apprécier la performance des conducteurs par des tests complémentaires, des mesures physiologiques, des enregistrements des expressions faciales et des conditions routières, ainsi que par des études hypnologiques durant la principale période de sommeil. Aucun accident n'est survenu et personne n'a subi de dommage corporel.
- La mesure simultanée d'un grand nombre de variables était très importante du point de vue de l'interprétation des données. Elle a permis d'obtenir des résultats plus fiables qu'avec une ou deux variables seulement.
- Les données récoltées ont permis de constituer une base susceptible de faire l'objet d'analyses complémentaires pendant de nombreuses années et de s'attaquer à des questions ou d'utiliser des méthodes d'analyse débordant le cadre de la présente étude.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les résultats et les conclusions de la présente étude concernant la fatigue chez les conducteurs de véhicules utilitaires sont présentés dans les pages qui suivent.

EFFETS DU RYTHME CIRCADIEN

Il est ressorti de la présente étude que le facteur dont l'effet sur la vigilance s'est révélé le plus puissant et le plus tenace a été celui du rythme circadien, c'est-à-dire le rythme biologique de 24 heures. Les enregistrements des expressions faciales montrent que, en conduite nocturne, la somnolence se manifeste de façon plus marquée qu'en conduite diurne, et que ses manifestations les plus fortes s'observaient durant les huit heures précédant l'aube. À la conduite nocturne (de minuit à l'aube) sont également associées les performances les plus faibles selon quatre critères importants :

proportion des enregistrements des expressions faciales montrant des symptômes de somnolence; écart-type moyen des déviations de trajectoires; écarts incrémentaux dans les résultats des tests de substitution effectués à l'aller par rapport à ceux effectués au retour; nombre moyen d'heures de sommeil total mesurées par des procédés électrophysiologiques durant la principale période de sommeil précédant un voyage. L'heure à laquelle s'effectue le voyage s'est révélée un meilleur prédicteur des baisses de vigilance que le nombre d'heures au volant ou que le nombre cumulatif de voyages.

Tant les tests de substitution que les auto-diagnostics sur l'état de vigilance montrent l'effet du rythme circadien -- le niveau d'éveil baissant de beaucoup la nuit. Mais l'effet le plus remarqué du rythme circadien a été le nombre d'enregistrements des expressions faciales montrant des symptômes d'hypovigilance au volant. Le nombre de cas de somnolence au volant enregistrés entre 22 h et 6 h le lendemain a été huit fois plus élevé qu'en conduite diurne. Au total, 1989 blocs de 6 minutes (198,9 heures sur 4 080 heures d'enregistrements, ou 4,9 p. 100, soit la limite inférieure de la prévalence de la somnolence) ont été jugés comme étant des cas de somnolence. La plupart, soit 1 646 (82 p. 100), sont survenus entre 19 h et 6 h 59. Il est intéressant d'observer que le Bureau de la sécurité des transports du Canada montre dans son étude de 1995 sur les accidents de camions impliquant un seul véhicule et où la fatigue aurait été un facteur contributif (le nombre d'accidents pris en compte a été restreint en outre à ceux où le conducteur a survécu et dont on a pu reconstituer l'emploi du temps sur les 96 heures précédant l'accident) que la fatigue avait été un facteur contributif dans 62 cas sur 107 et que 52 (83,9 p. 100) d'entre eux avaient eu lieu la nuit (entre 22 et 8 h) et 10 le jour, soit 5,2 fois plus d'accidents se produisant la nuit qu'il y en a eu se produisant de jour, et tous ayant la fatigue comme facteur contributif.

Le degré de somnolence n'a pas été établi selon une échelle, mais on peut dire qu'elle variait de la somnolence légère à la somnolence prononcée. La question qui vient tout de suite à l'esprit est celle-ci : Que veut dire état de somnolence prononcée? Il a toujours été difficile de mesurer l'effet de la fatigue, et s'il est un reproche qu'on peut adresser à toutes les recherches sur la fatigue au volant, c'est celui qu'elles ne sont pas en mesure de dire si le degré de fatigue mesuré dans une situation donnée a dépassé une limite ou non. Il n'existe pas de critères normatifs permettant d'établir une ligne de démarcation entre le succès et l'échec dans l'appréciation des résultats découlant des tests administrés, qu'il s'agisse des tests de substitution, de poursuite ou de vigilance simple. Cependant, étant donné que la présente étude a eu recours à des enregistrements de la route et des expressions faciales, il a été possible de déterminer, à partir d'observations visuelles des yeux des conducteurs et de la position du véhicule par rapport aux marquages routiers, ceux parmi les conducteurs qui se trouvaient dans un état de somnolence prononcée et qui auraient mieux fait de s'arrêter en quelque lieu sûr afin de pouvoir dormir. Malheureusement, les ressources disponibles n'ont pas permis d'effectuer une étude cas par cas des périodes de sommeil qui pourraient avoir suivi les périodes de somnolence prononcée observées visuellement, afin de pouvoir déterminer la proportion de conducteurs ayant décidé d'aller dormir.

La plupart des cas de somnolence prononcée ont été observés en conduite nocturne, alors que les conducteurs étaient très susceptibles à la somnolence induite par le rythme circadien, état aggravé probablement par le déficit de sommeil attribuable à plusieurs facteurs (abordés ailleurs), notamment le fait que ceux qui devaient conduire de nuit ne pouvaient dormir que le jour, à l'encontre du rythme biologique normal. Ainsi, ces conducteurs allaient à l'encontre de leur rythme circadien, tant au volant qu'au moment d'aller dormir. De plus, en conduite nocturne, il y a moins de stimuli extérieurs susceptibles de réveiller les conducteurs, vu l'obscurité et la faible densité de la circulation.

NOMBRE D'HEURES AU VOLANT

On n'a noté aucune différence dans la prévalence de la somnolence, tel qu'observé sur les enregistrements vidéo, entre les parcours de jour comparables, selon les protocoles 10 ou 13 heures. Les déviations de trajectoires ont été cependant moindres dans le premier cas que dans le second. Mais cette différence pourrait être attribuée à une plus grande fatigue, à des différences entre le tracé des routes et (ou) entre les véhicules, ou les deux. Les diagnostics par tests complémentaires montrent que les résultats des tests cognitifs (test de substitution) ont été meilleurs pour les protocoles 10 heures, que dans les tests de vigilance et de temps de réaction (dérivés du test de vigilance simple) les résultats ont été meilleurs pour les protocoles 13 heures (probablement à cause de la baisse de contraste du moniteur découlant d'une conduite en plein soleil dans le cas des protocoles 10 heures) et que les tests de poursuite n'ont discerné aucune différence dans la coordination main-oeil. Les auto-diagnostics quant au niveau de somnolence due à la fatigue selon l'échelle Stanford ont montré une corrélation positive avec le nombre d'heures au volant, suggérant que les conducteurs peuvent ressentir un état de fatigue croissant avec le nombre d'heures au volant, sans qu'une baisse sensible de la performance ne puisse être observée. À noter que la corrélation a été faible entre les auto-diagnostics selon l'échelle Stanford et les résultats aux tests complémentaires.

La réglementation en vigueur depuis 1937 concernant le nombre maximal d'heures au volant est fondée sur l'hypothèse que la performance au volant baisse à mesure que le nombre d'heures au volant augmente, hypothèse qui a également été à la base de toutes les recherches sur la fatigue au volant menées depuis des dizaines d'années. Dans le cadre de la présente étude, une analyse a été menée sur l'importance relative des facteurs en jeu et, concernant le facteur de somnolence ou d'endormissement, elle a montré que l'heure à laquelle s'effectue un voyage constitue un facteur prédictif plus important que le nombre d'heures au volant ou que le total cumulatif de voyages.

Les facteurs sommeil et rythme circadien ont vu leur importance croître à mesure que se développaient les recherches scientifiques et médicales dans ces domaines, ce qui ne veut pas dire qu'il faut pousser les choses trop loin, au point de négliger le facteur du nombre d'heures au volant, qui demeure, lui, important. Les résultats de cette étude montrent l'étroite liaison entre «temps écoulé depuis l'heure du départ» et les auto-diagnostics. L'évolution de ces derniers à mesure que le nombre d'heures au volant augmente est un signe évident de fatigue, définie comme une gêne bien différente d'un handicap physiologique (Brown, 1994). Cette évolution pourrait bien être le signe d'initiatives compensatoires (Dinges et coll., 1994). D'après ces études, des auto-diagnostics faiblissants ne sont

pas nécessairement des signes d'un affaiblissement de la vigilance mesurée objectivement, mais ils demeurent quand même de bons indicateurs d'un épuisement physiologique et d'une augmentation du risque.

ACCUMULATION DE LA FATIGUE

Une accumulation de la fatigue a été observée au fil des jours. Par exemple, le test de la vigilance simple a montré des résultats décroissants au cours des derniers jours et pour les quatre protocoles. De plus, une tendance se dessine vers un auto-diagnostic de fatigue croissante générale à mesure que se multiplient les voyages. Cependant, l'accumulation de la fatigue au fil des jours ne se révèle pas comme un facteur de même force et de même ténacité d'un test à l'autre. Bien que les enregistrements vidéo faits au cours des deux derniers voyages selon le protocole C2-10tournant aient montré une apparence de somnolence, il ne faut pas oublier qu'ils ont, pour la moyenne, été effectués de nuit et que cette somnolence apparente pourrait être bien l'effet du rythme circadien. Les auto-diagnostics quant au niveau de somnolence selon l'échelle Stanford montrent que ce niveau augmente avec le nombre de voyages effectués selon le protocole C2-10tournant, mais cette tendance n'était pas aussi nette pour les voyages selon les protocoles C3-13débutnuit et C4-13débutjour.

TEMPS DE REPOS

Il a été observé que la variabilité du temps total de repos pour les quatre protocoles s'explique surtout par les activités post-voyage. Le lien étroit entre temps de repos post-voyage et temps total de repos n'est que la conséquence mathématique de l'ordonnement des voyages établi comme suit :

Le temps de repos entre deux voyages consécutifs est essentiellement la somme des trois parties suivantes : temps entre la fin d'un voyage et l'heure de dormir, temps consacré au sommeil, temps entre le lever et le départ suivant. L'heure fixée au départ est celle qui offre le moins de souplesse, car elle constitue l'aboutissement de plusieurs activités concomitantes. La modifier présente très peu d'avantages. Pour cette raison, le conducteur s'organise en fonction de cette heure. Le temps consacré au sommeil offre un peu plus de souplesse que l'heure du départ. Cependant, vu la rigueur des calendriers régissant les protocoles C2-10tournant, C3-13débutnuit et C4-13débutjour, ils laissent peu de latitude à ceux qui voudraient dormir tout leur soûl, ou peu s'en faut, ou qui du moins tenteraient de l'obtenir.

Enfin, il existe une certaine variabilité forcée dans le temps de repos post-voyage, attribuable à des facteurs sur lesquels le conducteur peut avoir un contrôle et à d'autres où il n'en a pas du tout. Ceux sur lesquels il exerce un contrôle ont déjà été mentionnés. Les autres dépendent des circonstances du voyage précédent : circulation, météo, retards dus aux expéditeurs, aux destinataires, aux gestionnaires de sa propre entreprise; inspections, pannes, etc. Si le voyage précédent se termine plus tôt, le temps de repos post-voyage et le temps total de repos augmentent. S'il se termine plus tard que prévu, l'un et l'autre sont raccourcis d'autant. C'est cette covariance qui expliquerait la corrélation statistique significative observée entre temps de repos post-voyage et temps total de repos.

On pourrait peut-être tirer de ce qui précède une leçon de contre-mesure à la fatigue et que les cours de formation destinés aux conducteurs pourraient exploiter. Elle est évidente et les conducteurs l'auront appris par eux-mêmes. Elle est la suivante : Vu que le conducteur ne peut pas savoir à l'avance si tel ou tel voyage prendra plus de temps que prévu. Vu que, devant un calendrier serré, il doit être dans un état aussi reposé que possible au moment du départ. Vu que dans cet état, il résistera mieux à la fatigue induite par des voyages plus longs que prévus. Alors, il devrait profiter des périodes où les voyages sont de courte durée, et des périodes de repos prolongé qui s'ensuivent, pour avoir une nuit complète de sommeil et même plus. Les personnes fatiguées, manquant de sommeil dorment plus de temps que la normale, phénomène que les spécialistes du sommeil appellent «récupération». Il ne s'agit pas ici d'argumenter en faveur d'un cumul de sommeil, mais plutôt d'un sommeil complet ou de récupération, à être pris lorsqu'un voyage se termine plus tôt que prévu.

Pour les régulateurs aussi, il y aurait une contre-mesure à exploiter. L'aviation de transport des forces armées américaines (USAF) a adopté un règlement selon lequel, en service commandé, le commandant d'un avion de transport a le pouvoir et la latitude de prolonger la période de repos de son équipage de conduite s'il juge que le temps entre deux affectations ne suffit pas à obtenir la quantité de sommeil prescrite dans le règlement. Une telle décision a normalement pour effet de retarder le départ suivant prévu pour cet avion. Le haut commandement peut ne pas la trouver tout à fait à son goût, mais il l'accepte sachant que c'est dans l'intérêt de la sécurité. Cette sorte d'éventualité est prise en compte dans l'ordonnancement des transports militaires.

En camionnage aussi, les régulateurs doivent savoir maîtriser les perturbations qui se produisent dans leur calendrier. Ils devraient comprendre que le déficit de sommeil devrait figurer dans la liste des impondérables qui risquent de se produire et auxquels ils devraient s'attendre. Le régulateur qui est informé par un conducteur que celui-ci accuse un déficit de sommeil à cause d'un voyage précédent plus long que prévu ou d'un retard quelconque devrait faire le nécessaire pour prolonger le temps de repos accordé à ce conducteur.

L'essentiel de ce concept repose sur la période consacrée au sommeil, non pas sur la durée du temps hors service, entre deux affectations. Les conducteurs participants ont affirmé qu'il leur faut en principe 7,2 heures de sommeil; si l'on prend en compte les autres activités à réaliser durant les périodes hors service, que ce soit dans le cadre de l'étude ou non (repas, besoins personnels, déplacement domicile-travail), huit heures hors service peuvent ne pas suffire pour dormir suffisamment. C'est encore plus vrai lorsqu'on tient compte aussi des contraintes imposées par le rythme circadien. Si un conducteur ne parvient pas à dormir parce qu'il fait jour, alors il lui faudra sans doute plus que huit heures hors service pour avoir la quantité de sommeil nécessaire avant la prochaine affectation.

PÉRIODES DE SOMMEIL QUOTIDIEN

Les conducteurs ont passé dans l'ensemble quelque 2 heures de moins dans leur lit, et ont dormi 2 h 30 de moins que la quantité de sommeil qu'ils déclarent être nécessaire. L'écart le plus marqué a été observé chez les conducteurs du protocole C3-13débutnuit, avec des chiffres correspondants de 2,3 heures et de 3,4 heures respectivement. La quantité de sommeil que les conducteurs déclarent leur être nécessaire était de 7,2 heures en moyenne pour la principale période de sommeil quotidien, alors que le temps passé au lit, mesuré au cours de la présente étude, était de 5,2 heures en moyenne et que le temps de sommeil réel était de 4,8 heures. Pour les quatre protocoles, le temps hors service moyen approximatif (sans compter le temps exigé par le protocole d'expérimentations), le temps passé au lit et la quantité de sommeil mesurée en laboratoire ont été les suivants :

- Protocole C1-10jour : 10,7 heures hors service, 5,8 heures au lit, 5,4 heures de sommeil.
- Protocole C2-10tournant : 8,7 heures hors service, 5,1 heures au lit, 4,8 heures de sommeil.
- Protocole C3-13débutnuit : 8,6 heures hors service, 4,4 heures au lit, 3,8 heures de sommeil.
- Protocole C4-13débutjour : 8,9 heures hors service, 5,5 heures au lit, 5,1 heures de sommeil.

Le déficit de sommeil mesuré (comparativement à la quantité déclarée comme nécessaire) pourrait être attribué, en partie, à la réduction du temps libre consécutive aux contraintes du protocole d'expérimentations. La recherche a, de plus, donné aux conducteurs l'occasion de se rencontrer entre eux, contrairement à ce qui peut se passer dans l'ordinaire. En outre, certains n'ont pas souvent organisé leur temps hors service en vue de tirer le maximum du temps disponible pour dormir. Enfin, bien qu'ils aient indiqué la quantité de sommeil qu'ils jugent comme leur étant nécessaire, on ne sait pas s'ils l'obtiennent généralement, la question ne leur ayant pas été posée.

Le temps passé au lit a été le plus faible chez les conducteurs des trois protocoles C2-10tournant, C3-13débutnuit et C4-13débutjour, qui ont eu le moins d'heures consécutives hors service (quelque 8,6 à 8,9 heures sans compter le temps exigé par le protocole d'expérimentations). Qui plus est, même dans le cas du protocole C1-10jour, qui autorisait quelque 10,7 heures de temps hors service (sans compter le temps exigé par le protocole), le temps passé au lit et le temps de sommeil n'ont été que de 5,8 et de 5,4 heures, respectivement.

Le faible quotient du temps de sommeil au temps passé au lit dans le cas du protocole C3-13débutnuit est probablement dû aux perturbations dans les habitudes de sommeil apportées par le rythme circadien, du fait que les conducteurs selon ce protocole ne pouvaient dormir que le jour.

QUANTITÉ ET QUALITÉ DU SOMMEIL

La quantité de sommeil obtenue par les sujets pendant la principale période de sommeil a été faible, à savoir, en moyenne, 2 heures de moins passées au lit et 2,5 heures de sommeil réel de moins que la quantité qu'ils ont déclaré comme leur étant nécessaire. Le temps passé au lit a été de 5,2 heures en moyenne (quantité moyenne de sommeil 4,8 heures) par rapport aux 7,2 heures de sommeil déclarées comme nécessaires. Le temps passé au lit le plus court (4,4 heures) et la quantité de sommeil la plus faible (3,8 heures) ont été le propre des conducteurs selon le protocole C3-13débutnuit.

La qualité de sommeil a été bonne, tous les conducteurs ayant eu un sommeil réparateur, normal, tel qu'observé par des moyens cliniques. Sur les 5,2 heures en moyenne passées au lit, ils ont dormi en moyenne 4,8 heures, donnant un rapport de 0,92 en moyenne : un rapport supérieur à 0,90 est souvent observé chez les personnes qui n'ont pas de trouble du sommeil et chez celles qui manquent de sommeil. Les interruptions de sommeil ont été de 25 minutes, chiffre plutôt bas par rapport à la normale (moins de 60 minutes chez les hommes adultes) et qui cadre avec le temps passé au lit et avec le déficit de sommeil.

La présente étude a été menée conformément aux règlements américain et canadien en vigueur sur les heures de service. On croyait que les conducteurs auraient la quantité de sommeil voulue. Cela ne fut pas le cas, pour des raisons qui ne sont ni simples, ni évidentes. La collecte de données prévue au protocole d'expérimentations retranchait quelque 0,9 heure du temps hors service, c'est-à-dire du temps libre entre deux voyages successifs, laissant aux conducteurs des protocoles C2-10tournant, C3-13débutnuit et C4-13débutjour quelque 8,7 heures, en moyenne. Une partie de ce temps était utilisée par les conducteurs à se déplacer vers et depuis le lieu du travail, à manger et à faire leur toilette. Plusieurs conducteurs se sont adonnés à des activités à caractère social ou de loisir : bavardage, lecture, télévision, temps qui aurait dû au contraire être consacré d'abord au sommeil afin de répondre aux exigences d'un travail aussi rigoureux. Quoi qu'il en soit, et bien que la quantité minimale de sommeil nécessaire n'ait pas pu être déterminée avec précision, ces conducteurs ont eu nul doute moins de sommeil qu'il leur aurait fallu d'après les données cliniques généralement admises (moyenne générale, 4,8 heures par période principale de sommeil).

Ces conducteurs avaient été placés sous observation pendant un cycle travail/repos nominal de 21 heures (protocole C2-10tournant) exigeant qu'ils conduisent entre 22 h et 6 h le lendemain matin au cours des derniers voyages, et sous observation pendant un cycle travail/repos nominal de 24 heures (protocoles C3-13débutnuit et C4-13débutjour) exigeant qu'ils conduisent entre 22 h et 6 h le lendemain matin au cours de la plupart des voyages. En conduite nocturne, les caméras vidéo ont enregistré en moyenne huit fois plus de cas jugés être des cas de somnolence qu'en conduite diurne.

La prévalence des cas de somnolence aurait pu être moindre si les conducteurs avaient pu dormir plus. L'analyse du temps de sommeil en fonction de la somnolence a donné une corrélation négative statistiquement significative, mais il n'a pas eu de protocole selon lequel des conducteurs étaient tenus de conduire la nuit après avoir eu la quantité de sommeil voulue. La présente étude n'a donc pas dégagé des données suffisantes permettant d'apprécier les niveaux «normaux» de somnolence en conduite nocturne. De même, les données disponibles n'ont pas permis d'apprécier avec confiance l'effet sur la somnolence de l'absence d'obligation pour les conducteurs de consacrer une heure de leur temps hors service aux exigences du protocole.

CONDUITE EN ÉTAT DE SOMNOLENCE

Les enregistrements vidéo se sont révélés beaucoup plus aptes à détecter les symptômes de somnolence au volant que les enregistrements polysomnographiques. Des 4 000 heures d'enregistrements vidéo obtenus, seuls des échantillons prélevés toutes les demi-heures ont été visionnés, mais, à chaque cas de somnolence observé, on a visionné également les 30 minutes précédant et suivant l'occurrence. Quelque 4,9 p. 100 des enregistrements échantillonnés ont été jugés comme présentant un état de somnolence, selon le jugement d'examineurs dûment formés, portant sur les mouvements oculaires, la position des paupières, les bâillements, les étirements et les sursauts. La proportion de cas de somnolence enregistrés était beaucoup plus élevée en conduite nocturne qu'en conduite diurne.

Des technologues experts en enregistrements polysomnographiques ont analysé, par des procédés manuels, les résultats des enregistrements EEG et EOG. Cette analyse a mis en évidence deux voyages distincts, faits par des conducteurs différents (incidence d'environ 0,6 p. 100 des voyages étudiés, et d'environ 2,5 p. 100 des conducteurs observés) durant lesquels ont été observés plusieurs épisodes intermittents d'activité cérébrale étiquetée comme étant des cas de somnolence - PSG au volant. Ces deux épisodes ont totalisé un peu plus que 19 minutes sur les 244 667 minutes de conduite analysées, soit 0,008 p. 100. Durant ces périodes, les diagrammes EEG et EOG des sujets correspondaient aux critères cliniques (Rechtschaffen et Kales, 1968) du stade 1 du cycle de sommeil lent pour des sujets se trouvant en salle obscure.

Ces deux épisodes ont par ailleurs été corroborés par les enregistrements vidéo correspondants, montrant les sujets dans un état de somnolence. Les diagrammes électroencéphalographiques peuvent avoir révélé un état hypnographique plus sévère (à comparer à l'appréciation au vu des expressions faciales observées) et peu fréquent. Cependant, les différences observées peuvent être le résultat de la sensibilité propre à chacune de ces deux méthodes pour la détection de la somnolence au volant. Certains hypnologues considèrent le stade 1 comme un état de somnolence précédant le sommeil, alors que d'autres le considèrent comme un état de sommeil vrai, avec toutes ses connotations sensorielles et comportementales. Dans l'état actuel des connaissances en matière de comportement humain, force sera de s'inquiéter de ce qui pourrait se produire si quelqu'un conduit une voiture automobile alors que son cortex cérébral semble se trouver dans un

état de sommeil. Cependant, un conducteur peut avoir un comportement indiquant clairement qu'il est dans un état de somnolence, et dans un état d'hypovigilance et (ou) de facultés affaiblies, malgré l'absence d'un diagramme électroencéphalographique montrant hors de tout doute les premiers signes du sommeil.

La comparaison des mouvements du volant et des déviations de trajectoires chez les conducteurs jugés dans un état de somnolence et ceux qui ne l'étaient pas, au vu des enregistrements vidéo, montre une plus grande amplitude et un plus grand écart-type dans les déviations de trajectoires chez les premiers que chez les seconds, ce qui a des conséquences évidentes sur la sécurité routière.

L'analyse du temps de sommeil en période principale du sommeil en fonction de la somnolence manifestée durant le voyage suivant a donné une corrélation négative, ce qui n'est pas étonnant. Cependant, il n'a pas été possible d'apprécier les niveaux «normaux» de somnolence au volant étant donné qu'il n'y a pas eu de protocole selon lequel tous les conducteurs ont pu conduire après avoir eu la quantité de sommeil voulue.

Au cours de la présente étude il n'y a eu aucun cas de collision, malgré les indications de somnolence dans les enregistrements vidéo et polysomnographiques et au vu de l'analyse d'autres paramètres de performance au volant.

PÉRIODES COURTES DE SOMMEIL

Sur les 80 conducteurs participants, 35 (44 p. 100) ont fait durant une période de travail un petit somme comportant une période de sommeil au sens clinique du terme. Ceux qui ont agi ainsi ont prolongé leur temps de sommeil quotidien de 27 minutes en moyenne, équivalant à une augmentation de 11 p. 100 par rapport à la période principale de sommeil quotidien. La décision de prendre un somme était souvent précédée par une phase de somnolence, comme le montrent les enregistrements vidéo. Il semble donc qu'il s'agit là d'une contre-mesure faisant suite à un besoin de sommeil ressenti par le sujet.

Étant donné que 45 conducteurs n'ont pas pris de somme (il n'y a eu que 63 sommes au cours des 360 voyages effectués dans le cadre de la présente étude), aucune analyse n'a été menée pour déterminer dans quelle mesure les sommes pris par les conducteurs ont débouché sur une hausse de la vigilance et une amélioration de la performance au volant. Ce détail mériterait d'être approfondi lors des analyses devant se faire ultérieurement à partir des données récoltées dans le cadre de la présente étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires.

EFFET DES PAUSES EN COURS DE VOYAGE

Dans le groupe 10 heures (protocoles C1-10jour et C2-10tournant), les conducteurs s'auto-administraient les test complémentaires à leur arrivée au point de retour et avant de le quitter. Le seul

test ayant montré une récupération chez ces conducteurs a été le test de substitution, aucun autre n'ayant dégagé un effet de récupération statistiquement significatif.

AUTO-DIAGNOSTICS DE FATIGUE

La corrélation a été faible entre les auto-diagnostics sur l'état de vigilance et le niveau d'éveil et les paramètres de performance correspondants. Il semblerait que les conducteurs ne parviennent pas à déterminer leur propre niveau de vigilance, la tendance allant vers un diagnostic plus favorable que ne le montraient les tests correspondants.

En revanche, la corrélation a été positive entre les auto-diagnostics, d'une part, et le nombre d'heures au volant durant un voyage ainsi que le nombre cumulatif de voyages, d'autre part. Ces deux facteurs ont peut-être influé sur l'impression de fatigue ressentie, du fait qu'ils reflétaient plus un état de stress croissant ou un effort compensatoire qu'un état réel. Ou bien alors les conducteurs se seraient laissé guider par la logique selon laquelle la fatigue doit augmenter de pair avec ces deux facteurs, et qu'ils se seraient laissé influencer par elle au moment de diagnostiquer leur état de fatigue selon l'échelle Stanford. Dans ce cas, il semblerait que les conducteurs se seraient dit qu'ils devraient se sentir fatigués puisqu'ils avaient été au volant pendant si longtemps.

On n'a noté aucune corrélation significative entre les auto-diagnostics et le pourcentage d'heures en conduite de nuit, même si les tests montraient que la performance au volant diminuait considérablement en conduite de nuit par rapport à celle en conduite de jour. Si l'explication donnée au paragraphe précédent colle à la réalité, le corollaire serait inquiétant. Il signifierait que les conducteurs ne se rendent pas compte à quel point la conduite de nuit exerce une influence sur la vigilance au volant, alors que les tests effectués montrent que cette influence est significative. Les conducteurs auraient tout à gagner à recevoir une formation axée sur l'influence du rythme circadien sur la performance au volant.

DIFFÉRENCES DANS LA SUSCEPTIBILITÉ À LA SOMNOLENCE

Des différences marquées dans l'état de vigilance et dans le niveau d'éveil ont été observées d'un conducteur à l'autre. Différences qui ne disparaissaient pas d'un test à l'autre et qui souvent se manifestaient au bout d'un nombre d'heures au volant et d'un nombre cumulatif de voyages, de jour ou de nuit, comparables.

Une grande variabilité a été également observée dans le nombre total d'épisodes de somnolence, au vu des enregistrements vidéo. En effet, 36 p. 100 des conducteurs n'ont jamais été associés à un épisode de somnolence; parmi les autres, 77 p. 100 (49 p. 100 de l'ensemble des conducteurs) l'ont été 10 fois ou moins et 23 p. 100 (15 p. 100 de l'ensemble), plus de 10 fois. Parmi ces derniers, le nombre d'épisodes varie entre 12 et 40, la moyenne s'établissant à 22 sur les 4 à 5 jours de leur participation à l'étude.

La grande variabilité dans les comportements individuels ressort encore plus du fait que sur les 80 conducteurs, 11 (14 p. 100) ont cumulé 54 p. 100 de tous les épisodes de somnolence observés.

La présente étude n'a pas cherché à observer si tel ou tel conducteur ayant montré des occurrences de somnolence répétées durant la semaine visée par l'étude récidiverait au cours des semaines ou des mois suivants. Ainsi, il est impossible de déterminer si les différences constatées s'expliquent par les traits caractéristiques des conducteurs (c.-à-d. des différences durables sur le plan de la physiologie et/ou de la performance) ou par des états transitoires (c.-à-d. des différences ponctuelles expliquées par la nature du repos obtenu peu avant ou par d'autres facteurs isolés). Naturellement, on peut affirmer que les deux variables explicatives peuvent avoir joué. Il y aurait lieu de mener des recherches complémentaires pour départager l'influence des deux variables, car cela pourrait aider à améliorer la sélection, la formation et l'affectation des conducteurs dans l'optique de la lutte contre les effets de la fatigue.

APNÉES DU SOMMEIL

L'analyse polysomnographique des sujets a montré que, sur les 80 conducteurs, 2 (2,5 p. 100) avaient le syndrome d'apnées du sommeil, diagnostiqué cliniquement. Il est intéressant de noter que la performance au volant de ces deux conducteurs ne montre aucune différence statistiquement significative par rapport à celle d'autres conducteurs comparables ayant participé à cette étude. La raison pourrait être que la quantité totale de sommeil de ces deux conducteurs ainsi que les variables de la structure hypnologique de leur sommeil ne diffèrent guère de celles d'autres conducteurs âgés ayant participé au protocole C1-10jour.

CORRÉLATION ÂGE ET FATIGUE

On n'a noté aucune corrélation significative entre l'âge des conducteurs et la fatigue ressentie par eux. Aucune différence constante n'a été observée, non plus, entre conducteurs jeunes et âgés, du point de vue de la somnolence, de la fréquence des sommes de courte durée, des auto-diagnostics ou de la performance au volant. Les conducteurs plus âgés ont été moins performants dans le test de substitution que les plus jeunes, mais cela n'est pas attribuable à la fatigue. Comme des recherches antérieures l'ont démontré, c'est plutôt les mesures psychomotrices et les aptitudes de mémorisation qui sont généralement moindres pour les sujets les plus âgés. Pour contourner l'effet de l'écart d'âge, les résultats des tests de substitution ont été désagrégés par groupe d'âge de manière à ce que les baisses de performance dues à l'âge ne viennent pas fausser les autres comparaisons.

CONTRE-MESURES À LA FATIGUE

Plusieurs contre-mesures à la fatigue et à la baisse de vigilance ont été examinées sous une forme ou une autre dans le cadre de la présente étude. Dans la documentation pertinente, ces contre-mesures appartiennent grosso modo aux deux types suivants : 1) maintien d'un niveau élevé de vigilance et 2) détection des baisses de vigilance et réactions à celles-ci. Pour ce qui est du maintien de la vigilance, le consensus va en premier lieu dans le sens d'un sommeil en quantité suffisante, surtout lorsque, comme c'est assez souvent le cas, le cycle travail/repos va à l'encontre du rythme circadien des conducteurs. Pour satisfaire à la condition de sommeil en quantité suffisante, il faut mettre à la disposition des conducteurs un temps suffisant pour dormir (y compris les sommes de courte durée) et faire en sorte qu'ils s'organisent de manière à mettre à profit les heures hors service pour dormir la quantité d'heures nécessaire.

Cependant, aucun règlement sur les heures de service ni aucune organisation temporelle du travail ne pourra prévenir qu'un conducteur ne tombe à un moment ou à un autre dans un état d'hypovigilance incompatible avec l'objectif de conduite sans accident préconisé par le sommet tenu en 1995 sur la sécurité des camions et des autocars (FHWA, 1995). Il devient de ce fait primordial que ce conducteur se rende compte du danger et qu'il arrête de conduire. La réglementation en vigueur (article 392.3 de la loi fédérale 49 CFR sur la sécurité des transports routiers) stipule que tout conducteur fatigué doit cesser de conduire, mais la loi n'est pas toujours respectée (Hayworth et coll., 1988; BSTC, 1990 et 1995; McCart, 1995). Le résultat qu'on voudrait obtenir serait non seulement que le conducteur se rende compte de l'état de fatigue dans lequel il se trouve, mais aussi qu'il arrête de conduire.

La détection des premiers symptômes de fatigue au volant pourrait être améliorée en lançant de nouveaux programmes de formation et d'éducation des conducteurs, en effectuant des tests complémentaires utilisant les technologies les plus récentes et en mettant en oeuvre des dispositifs de surveillance au volant. Quant à inciter le conducteur à arrêter de conduire lorsqu'il est fatigué, il faudra pour cela qu'il n'ait plus à subir le contrecoup financier d'un retard éventuel sur l'horaire.

Un système optimum de contre-mesures à la fatigue nécessitera un consensus de la part des expéditeurs, des consignataires, des transporteurs, des conducteurs et des instances réglementaires : sensibilisation efficace des conducteurs au phénomène de la fatigue au volant, utilisation immédiate des avancées techniques dans le domaine, organisation du travail tenant compte du facteur de fatigue au volant, y compris acceptation de l'idée d'un arrêt imprévu pour une courte période de sommeil sans en faire subir aux conducteurs le gros du contrecoup financier ou toute autre forme de pénalité qui aurait pour effet de réprimer chez eux la motivation pour le genre de comportement qu'on les voudrait voir adopter.

Il n'entraîne pas dans le mandat de la présente étude de dire exactement comment on pourrait aboutir à un tel consensus, ni d'en calculer les avantages, les coûts et autres conséquences. Mais la masse de données scientifiques engrangée par l'étude montre clairement que, sur les milliers d'heures au volant remarquablement exemptes d'accident, il y a eu des cas de fatigue extrême au volant, une

carence manifeste dans les auto-diagnostics sur l'état réel de fatigue et un manque de motivation pour s'arrêter de conduire même lorsque la fatigue se faisait cruellement sentir. Chacun de ces cas projette un risque pour l'avenir, mais se présente aussi comme un défi pour une sécurité routière accrue.

Appréciation des tests complémentaires

L'un des volets du mandat de la présente étude était d'apprécier l'utilité des tests automatiques comme moyen de dépister l'état de fatigue chez les conducteurs. Les essais complémentaires dont il est question ici ne décrivent qu'une des approches choisies, à savoir apprécier la forme physique des conducteurs avant un voyage. Les trois tests sélectionnés l'ont été parce que les recherches antérieures avaient montré qu'ils permettaient d'obtenir des appréciations diagnostiques sur l'état des conducteurs du point de vue du comportement et de la fatigue au volant. Le test de vigilance simple, par exemple, permet d'apprécier les latences tant de vigilance que de réactions psychomotrices, dans un contexte où la vigilance et la rapidité des réflexes sont essentielles en cas d'événements imprévus sur les autoroutes.

Les deux mesures du test de vigilance simple (pertes de vigilance et résultats RVS) ont montré une dégradation soutenue et statistiquement significative liée au nombre d'heures de conduite consécutives et au nombre cumulatif de voyages. Les pertes de performance observées cadrent avec l'hypothèse du caractère aigu et cumulatif de la fatigue.

La sensibilité des tests de vigilance simple est d'autant plus remarquable qu'elle subit l'influence d'un affaiblissement de la variance d'une variable dérangement non contrôlée associée au niveau d'éclairage. Par leur simplicité, leur validité apparente et leur sensibilité, ces tests et autres de même nature se situeront parmi les meilleurs prédicteurs des baisses de vigilance au volant. Sauf que les enquêteurs devront s'attaquer entre autres choses au problème des variations non contrôlées dans l'intensité du stimulus, c'est-à-dire les rapports de contraste selon les conditions d'éclairage. Il faudra soit mettre en oeuvre un stimulus insensible au niveau d'éclairage, soit contrôler celui-ci.

Le test de substitution s'est révélé sensible aux baisses de vigilance aiguës observées vers la fin d'un voyage et en conduite de nuit. Les fortes améliorations observées d'un voyage à un autre sont le résultat de gains d'habileté, certains conducteurs améliorant leur performance même au bout de 20 séances distribuées de trois minutes chacune. Le test de substitution mesure l'aptitude à choisir une réponse parmi plusieurs, ce que ne fait pas le test de vigilance simple et ce qui rend le test de substitution un bon test complémentaire, encore plus sensible aux symptômes de fatigue aiguë. En outre, le test de substitution ne subit pas l'influence du niveau de luminosité, ce qui le rend efficace dans les situations où ce facteur est difficile à contrôler.

Les temps de réaction observés pour le test de vigilance simple augmentent à mesure que le stimulus, qu'il soit auditif ou visuel, diminue d'intensité. C'est peut-être là une explication aux temps de réaction croissants observés pour le test de vigilance simple, en conduite de jour et pour les protocoles de 10 heures. Le test de substitution n'a rien à voir avec un test de vigilance et de temps de réaction tel que le test de vigilance simple. C'est un test complexe obligeant à choisir une réponse

parmi plusieurs et mettant à contribution le sens d'observation visuelle, la mémoire visuelle courte durée, la mémoire psychomotrice courte durée, la reconnaissance de symboles et l'aptitude à prendre des décisions rapides. Sur le plan des aptitudes mises à contribution, ce test est plus proche du test de compréhension et de lecture utilisé par Garcia et Wierwille (1985) pour approfondir l'effet de l'éblouissement sur un écran vidéo. Leur étude n'a pas débouché sur un rapport statistiquement significatif entre éblouissement et aptitude à bien lire. Elle a montré que l'éblouissement augmente le temps nécessaire pour lire un texte jugé lisible, mais il augmente le temps nécessaire pour lire un texte moins facile à déchiffrer.

Le test de poursuite n'a pas permis de montrer des changements statistiquement significatifs dus à la période du jour, au nombre d'heures au volant ou au nombre cumulatif de voyages. Malgré ses utilisations antérieures dans le domaine de la recherche sur la fatigue au volant, l'absence de corrélation avec les variables indépendantes de la présente recherche met en doute son utilité future dans les tests d'appréciation de la fatigue. Il convient de souligner cependant que notre étude a mis en évidence une corrélation faible, mais statistiquement significative, entre les résultats de ce test et les auto-diagnostics quant au niveau de somnolence due à la fatigue selon l'échelle Stanford ($r = -0,12$, $p < 0,001$).

Des corrélations tout aussi faibles, mais statistiquement significatives, ont été aussi observées entre ces auto-diagnostics et les facteurs pertes de vigilance et résultats RVS du test de vigilance simple. La faiblesse des corrélations peut signifier que les conducteurs ne sont que faiblement conscients des baisses de vigilance mises en évidence par les tests, ou bien alors que l'échelle Stanford ne convient pas aux auto-diagnostics des conducteurs sur la vigilance et l'état d'éveil.

Répercussions sur la sensibilisation des conducteurs à la fatigue au volant

La présente étude a permis de cerner deux questions à aborder dans la formation donnée aux conducteurs : la quantité insuffisante de sommeil prise par les conducteurs et la forte tendance à la somnolence en conduite de nuit. Il faut apprendre aux conducteurs l'importance de dormir la quantité d'heures voulue (quelque 7 heures selon les conducteurs mêmes qui ont participé à l'étude), surtout lorsqu'il s'agit de conduire la nuit. De plus, il a été constaté, en confrontant les auto-diagnostics aux mesures objectives de performance, que les conducteurs posaient des diagnostics erronés quant à leur état réel de fatigue et à leur niveau d'éveil. Cette constatation montre la nécessité de former les conducteurs de manière à ce qu'ils puissent mieux apprécier leur état de fatigue au volant, peut-être en apprenant à mieux évaluer les changements qui s'opèrent dans leur organisme ainsi que les changements subtils dans la performance au volant qui les accompagnent.

Synthèse des résultats concernant les contre-mesures à la fatigue

Bien que la présente étude n'ait pas été conçue dans le but de proposer des contre-mesures à la fatigue, elle n'en demeure pas moins favorable à leur développement.

Il a été observé que les changements opérés par la fatigue au volant, mesurés par la variabilité croissante dans les mouvements du volant et dans les déviations de trajectoires, ont une corrélation avec l'état de somnolence vu sur les enregistrements vidéo des expressions faciales. Cette corrélation entre état de somnolence et baisses de vigilance au volant est l'un des facteurs qui justifierait le recours à la surveillance continue des conducteurs à l'affût des symptômes de fatigue. Une approche connexe et complémentaire serait d'observer les manifestations psychophysiologiques de la fatigue - paupières qui se referment - comme celles observées sur les enregistrements vidéo ou sur d'autres dispositifs indicateurs des baisses de la vigilance. Le Department of Transportation des États-Unis ainsi que divers organismes et établissements mènent des recherches sur un vaste front sur les moyens de détecter les symptômes de la fatigue au volant et sur les contre-mesures qui pourraient servir à la prévenir. L'aptitude à la tâche de conduire et la surveillance continue des conducteurs sont quelques-unes des approches approfondies. Simultanément, on étudie l'effet sur la fatigue de plusieurs autres facteurs : tracé et condition des routes, caractéristiques du véhicule, intensité de la circulation, autant de facteurs devant être pris en compte dans le développement des dispositifs de surveillance au volant.

La présente étude a voulu identifier les comportements que les conducteurs adoptent pour combattre l'effet de la fatigue, les courtes périodes de sommeil, par exemple. L'effet revigorant de celles-ci a été mis en évidence chez d'autres opérateurs, les pilotes d'avions, par exemple, et cette méthode devrait faire l'objet des recherches à venir, y compris une autre analyse de la base de données accumulées par la présente étude. D'autres méthodes recensées au cours de l'enquête sur les contre-mesures à la fatigue paraîtront dans un rapport à être rendu public dans un proche avenir.

L'effet puissant du rythme circadien sur la fatigue au volant montre que l'organisation rationnelle des voyages peut s'avérer une bonne contre-mesure à la fatigue des conducteurs de véhicules utilitaires. La meilleure organisation du point de vue de la vigilance et de la performance au volant serait celle qui prend en compte comme il se doit les voyages de nuit. Sauf erreur, aucun règlement sur le nombre d'heures maximal admissible au volant dans le monde n'a tenu compte de l'effet du rythme circadien, bien que les ouvrages sur l'organisation temporelle du travail aient mis en évidence il y a longtemps déjà le lien étroit entre heure du jour et accidents ou incidents de la route.

Cependant, on ne peut affirmer que le fait d'éliminer la conduite nocturne dans le domaine du camionnage s'accompagnerait d'une baisse des taux d'accidents. En effet, cela entraînerait un accroissement de la congestion routière le jour et, peut-être, une augmentation correspondante du nombre d'accidents; sans compter le risque accru de collisions entre camions et véhicules de tourisme avec, en corollaire, la plus grande vulnérabilité de ces derniers nettement moins lourds que les premiers. D'autres recherches doivent être menées pour établir les risques comparatifs de collision en conduites diurne et nocturne pour une gamme étendue de types de routes et de véhicules et de

densités de circulation routière. Cela permettrait de cerner le véritable impact sur la sécurité routière de pratiques d'affectation privilégiant soit la conduite nocturne soit la conduite diurne.

Un autre moyen d'optimiser l'ordonnement des voyages est de recenser les propensions individuelles à la somnolence au volant, à la recherche des individus qui seraient plus aptes que d'autres à rester éveillés durant les longues heures de conduite la nuit. Ce serait là un moyen rationnel de sélection des conducteurs et d'affectation des routes.

RECOMMANDATIONS

Le tableau 8 récapitule les recommandations concernant les contre-mesures à la fatigue définies dans la présente étude.

Tableau 8. Recommandations concernant les contre-mesures à la fatigue

CONTRE-MESURES À LA FATIGUE			
MAINTIEN DE LA VIGILANCE		DISPOSITIFS D'ALERTE	
Conducteurs	Paramètres externes	Performance	Physiologie
<ul style="list-style-type: none"> • Sensibiliser les conducteurs à l'importance d'un sommeil suffisant • Étudier les façons d'améliorer la qualité des auto-diagnostics • Étudier l'effet des courtes périodes de sommeil 	<ul style="list-style-type: none"> • Étudier des méthodes décelant les aptitudes à conduire de nuit • Améliorer l'organisation temporelle du travail en fonction des connaissances scientifiques acquises sur la fatigue, les performances et le sommeil • Règlement sur les heures de service 	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre au point des tests améliorés de contrôle des aptitudes à la tâche de conduire • Mettre au point des dispositifs de surveillance et d'alerte en temps réel 	<ul style="list-style-type: none"> • Recherches sur les liens entre qualité du sommeil et rythme circadien et performance au volant • Recherche sur les tests physiologiques préventifs

DISPOSITIFS DE MAINTIEN DE LA VIGILANCE

Sous la rubrique Conducteurs du tableau 8 sont récapitulées les contre-mesures que les conducteurs peuvent utiliser pour se maintenir dans un état de vigilance.

Sensibiliser les conducteurs à l'importance d'un sommeil suffisant

Il a été observé qu'un grand nombre des conducteurs participants ne donnaient pas au sommeil la place dominante qu'il aurait dû avoir. Les conducteurs (et la plupart des profanes) ne se rendent pas compte de la somme considérable de connaissances que l'on a accumulée concernant le sommeil et l'organisation temporelle du travail. L'occasion est donc bonne pour donner aux conducteurs une formation montrant l'importance d'une bonne discipline du sommeil, en mettant à leur disposition les programmes et le matériel didactique voulus.

Améliorer la qualité des auto-diagnostics

Il est possible de montrer aux conducteurs comment mieux détecter l'apparition des symptômes de fatigue. On arriverait ainsi à des gains de sécurité beaucoup plus rapidement qu'avec les dispositifs technologiques qui demandent beaucoup de temps pour leur mise au point. Ces derniers ne remplaceront pas les auto-diagnostics, mais leur serviront d'appoint. Cet aspect mérite d'être approfondi.

Favoriser les courtes périodes de sommeil

Il a été observé dans un contexte différent, l'aviation par exemple, que les courtes périodes de sommeil constituaient un bon moyen de lutte contre la fatigue. Il faudra approfondir leur effet sur la fatigue ressentie par les conducteurs de véhicules utilitaires, à la lumière des observations correspondantes faites durant la présente étude. Lorsqu'un conducteur sent les premiers symptômes d'une baisse de vigilance, il ferait mieux d'arrêter en quelque lieu sûr pour dormir un peu. Ils pourraient aussi dormir un peu, à titre préventif, avant le début d'un voyage. On devrait encourager les conducteurs qui commencent leur service entre 15 h et minuit environ à faire un somme à l'heure de la «sieste». Par des recherches complémentaires, il sera possible de déboucher sur des recommandations destinées à susciter un tel comportement chez les conducteurs de véhicules utilitaires.

PARAMÈTRES EXTERNES

Sous la rubrique Paramètres externes du tableau 8 sont récapitulées les contre-mesures pouvant être mises en place par d'autres agents que les conducteurs.

Étudier des méthodes pour déceler les aptitudes à conduire de nuit

La variabilité dans les épisodes de somnolence au volant a été très grande chez les 80 conducteurs ayant participé à cette étude. D'autres recherches devraient être menées pour

déterminer si des différences existent réellement sur le plan de la résistance à la somnolence et cerner dans quelle mesure cela s'explique par les traits caractéristiques des conducteurs ou par des circonstances ponctuelles. De cette façon, on réussira peut-être à mettre au point des tests de sélection permettant de repérer les personnes qui n'ont pas les aptitudes voulues pour conduire la nuit.

Améliorer l'organisation temporelle du travail

Les entreprises de transport routier devraient organiser le travail de manière à exploiter les vastes connaissances acquises concernant les liens entre fatigue, vigilance et sommeil. Il faudrait publier des lignes directrices dans ce domaine, que ces entreprises pourront mettre à profit.

Quantité de sommeil, rythme circadien, heures de service et formation

Bien que le règlement sur les heures de service constitue un moyen permettant de prévenir les occurrences dangereuses de fatigue au volant, il ne reflète pas la masse de connaissances acquises concernant les cycles travail-repos, et ne tient pas compte de l'effet du rythme circadien.

Il faudra donc mener des études complémentaires pour déterminer la relation quantitative entre heures de sommeil, heures écoulées depuis le réveil et probabilité de somnolence en fonction du rythme circadien, et déterminer la quantité de sommeil en fonction des périodes de jour ou de nuit travaillées de manière à obtenir le degré de vigilance nécessaire lorsque l'organisme commence à se fatiguer. La recherche aura des retombées utiles aux conducteurs, aux entreprises de transport routier et aux pouvoirs publics. On pourrait éventuellement faire appel à des conducteurs de métier pour servir de sujets, car il est raisonnable de penser que les conducteurs qui estiment ne pas pouvoir supporter les contraintes d'un horaire irrégulier préféreront se retirer de ce métier-là.

Vu le degré élevé d'exposition au risque associé à ce type de recherche mené sur des voies publiques, il faudra pouvoir recourir à des essais sur simulateurs de conduite et sur pistes, sous réserve que ces essais auront été adaptés spécifiquement aux objectifs fixés à la recherche sur la fatigue chez les conducteurs de véhicules utilitaires.

DISPOSITIFS D'ALERTE ET DE VIGILANCE

Sous la rubrique Performance du tableau 8 sont récapitulés les moyens d'alerte et de vigilance fondés sur la performance.

Tests d'aptitude à la tâche de conduire

Les tests d'aptitude à la tâche de conduire effectués au moment de prendre le volant ainsi qu'en cours de route permettent au conducteur d'établir des auto-diagnostics périodiques.

Il a été constaté des résultats obtenus que les tests mettant à l'épreuve la vigilance et les temps de réaction, tel que le test de vigilance simple, permettent effectivement de diagnostiquer deux aptitudes importantes pour la sécurité : degré de vigilance et temps de réaction psychomotrice, aptitudes qui, en cas d'événements imprévus sur la route, permettront au conducteur d'éviter un accident par une manoeuvre judicieuse.

Les tests de substitution et de vigilance simple ont tous deux permis de quantifier les baisses de performance associées à la fatigue et ayant un impact sur la sécurité. S'ils sont prometteurs comme tests de dépistage des aptitudes à la tâche de conduire, il demeure qu'ils posent un défi en termes de mise en oeuvre pratique sur les lieux de travail.

Le test de substitution mesure des aptitudes cognitives que le test de vigilance simple ne permet pas de contrôler. Il présente l'avantage d'être relativement insensible aux variations de l'éclairage ambiant, d'où son intérêt dans les milieux où la régulation du niveau d'éclairage s'avère difficile. De plus, il donne des résultats significatifs en un temps relativement court (180 secondes au maximum). En revanche, il est relativement complexe et exige beaucoup de temps pour l'apprentissage. Nombre des conducteurs participant à l'étude affichaient des effets de pratique après 20 séances réparties de trois minutes. Il est recommandé de réétudier ce test pour en tirer une variante exploitable en milieu de travail. Mais avant de l'utiliser comme outil de sélection, il faut avoir pris la précaution d'éliminer les effets de la courbe d'apprentissage.

Le test de vigilance simple a l'avantage de la simplicité et d'un apprentissage aisé. Sa simplicité facilite également la mise au point d'un dispositif relativement peu coûteux. Par contre, les variations du niveau d'éclairage ambiant tendent à biaiser les résultats, ce qui complique le développement d'un appareil embarqué pratique à exploiter. Il y a aussi la durée relativement grande du test (10 minutes) qui en fait un outil onéreux. Il est recommandé de réétudier ce test d'abord pour en réduire la durée et ensuite pour le rendre insensible aux variations du niveau d'éclairage ambiant.

Il faut préciser que la grande variabilité dans les résultats de ces tests doit être imputée aux différences individuelles. Pour être utiles, ces tests devront faire ressortir pour chaque individu, les écarts entre les résultats ponctuels et ce qui constitue la norme pour cet individu. En outre, étant donné que ces tests permettent un diagnostic de l'état présent seulement, leur utilité comme moyen d'alerte et de gestion de la vigilance devrait être soigneusement évaluée.

Dispositifs de surveillance et d'alerte en temps réel

Les dispositifs d'alerte en temps réel possédant les caractéristiques voulues (haute probabilité de détection, taux de fausses alarmes faible) sont difficiles à réaliser; ils constituent pourtant d'importants projets de recherche aux retombées fort intéressantes pour la détection des premiers symptômes de fatigue au volant. Les résultats de cette étude permettront aux chercheurs de progresser dans la mise au point de dispositifs appartenant à ces deux formes de contre-mesures.

Les études antérieures avaient montré que la performance au volant, diagnostiquée en mesurant les déviations de trajectoires et les mouvements du volant, était une variable dépendant de l'état de vigilance et du niveau d'éveil. Mais comme, en plus, elle est dictée par les choix que le conducteur fait à mesure que les conditions routières externes changent, celles-ci devraient être également prises en compte. Exemple, la position du véhicule par rapport à l'axe d'une voie au vu de l'intensité de la circulation dans les voies adjacentes et en fonction de l'état de la chaussée (ornières, profil transversal, etc.). En outre, il est tenu pour acquis que la ligne matérialisée par la bande peinte en blanc sur la chaussée et par rapport à laquelle les caméras enregistrent les déviations de trajectoires, est elle-même sans défaut et facile à repérer par les caméras. Ce sont là autant de facteurs qu'il faudra approfondir également.

La présente étude a constaté que le meilleur indicateur des baisses de vigilance était l'enregistrement vidéo des expressions faciales des conducteurs, montrant l'évolution de l'état de vigilance et l'apparition des symptômes de fatigue. La surveillance de la position des paupières et autres repères analogues pourrait constituer un moyen de surveillance en temps réel, à condition de disposer d'appareils embarqués, fiables et économiques, permettant de procéder automatiquement aux enregistrements correspondants. Ce serait là un domaine de recherche fort prometteur.

MÉTHODES FONDÉES SUR LA PHYSIOLOGIE

Sous la rubrique Physiologie du tableau 8 sont récapitulées les recherches visant les contre-mesures fondées sur les tests physiologiques.

Recherches sur les liens entre qualité du sommeil, rythme circadien et performance au volant

Les observations effectuées pendant les principales périodes de sommeil ont été fort utiles, certes, mais il reste encore beaucoup à apprendre. Il faudra, par exemple, mener d'autres recherches sur le sommeil dans les couchettes des tracteurs en fonction des horaires très variables inévitables en transport routier de courte et de longue haleine et en fonction des quantités très variables de sommeil que ces horaires autorisent. Ces recherches doivent prendre en compte les effets du rythme circadien sur la quantité et la qualité du sommeil ainsi que sur les performances au volant.

Recherche sur les tests physiologiques préventifs

L'acquisition et le traitement des données à caractère physiologique seraient un appoint très utile dans la détection en temps réel des symptômes de fatigue au volant. Mais la recherche montre que les tests polysomnographiques connus ne possèdent pas la sensibilité ou la commodité d'autres indicateurs. Cependant, la recherche ne saurait se passer des tests physiologiques, surtout comme appoint aux tests de comportement.

ORIENTATIONS FUTURES

La présente *Étude sur la fatigue et la vigilance chez les conducteurs de véhicules utilitaires* a montré qu'il était possible de mener une recherche sur le terrain faisant appel à un grand nombre de conducteurs de véhicules utilitaires (80), effectuant de nombreux allers-retours (360) en service payant, et d'apprécier la performance des conducteurs par des tests complémentaires, des mesures physiologiques, des enregistrements des expressions faciales et des conditions routières, ainsi que par des études hypnologiques durant la principale période de sommeil. Aucun accident ne s'est produit durant la période visée par l'étude et personne n'a subi le moindre dommage physique. Les données récoltées ont permis de mettre en évidence un certain nombre de facteurs contributifs à la fatigue et aux baisses de vigilance chez les conducteurs, et de constituer une base de données susceptible de faire l'objet d'analyses complémentaires pendant de nombreuses années.

La somnolence et la fatigue au volant dominent désormais toutes les recherches portant sur les facteurs humains en jeu dans le domaine du transport routier. Ainsi, par exemple, la FHWA et l'Office of Motor Carriers des États-Unis commanditent actuellement une douzaine de projets de recherche, de formation et de perfectionnement dans ce même domaine. Les autres recherches achevées, en cours ou à l'étude ont porté, portent ou porteront sur le cycle travail/repos/récupération; les apnées du sommeil; le stress et la fatigue en conduite de trains routiers; les haltes routières; les chronotachymètres et autres dispositifs de contrôle; les tests d'aptitude à la tâche de conduire; les divers dispositifs embarqués de contre-mesure à la fatigue; la formation en matière de fatigue au volant destinée aux conducteurs et aux travailleurs associés de l'industrie du camionnage; le bien-être des conducteurs de véhicules utilitaires dans une entreprise de camionnage; la responsabilité des transporteurs et des destinataires en matière d'infractions au règlement sur les heures maximales au volant; le lien entre organisation du travail et fatigue chez les conducteurs; l'analyse sur le plan de la sécurité du règlement sur le temps de repos avant un retour au volant; la qualité du repos obtenu par l'utilisation de la couchette à bord du camion; la fatigue dans les transports courte distance; la fatigue produite par les travaux de chargement/déchargement; l'analyse plus fine des facteurs causatifs d'accidents. La plupart de ces recherches utiliseront les techniques, les constats et les connaissances tirées de la présente étude sur la fatigue chez les conducteurs de véhicules utilitaires.

Par ailleurs, un rapport publié sous les auspices de Transports Canada (un des partenaires de cette étude) et de l'Institut canadien de recherche en camionnage de l'Association canadienne du camionnage présentera les résultats ainsi que la synthèse d'une autre étude sur le terrain menée de concert avec la présente. Elle avait eu pour objet 55 autres voyages menés dans des conditions variées et caractérisés par des cycles travail-repos pouvant durer jusqu'à 10 jours. Les résultats de cette étude complémentaire viendront se greffer sur ceux de la présente étude, montrant notamment l'effet que peuvent produire des temps de repos de plusieurs jours.