



Transports
Canada

Transport
Canada

Canada

L'impact de la distraction cognitive sur le comportement visuel du conducteur et sur le contrôle du véhicule

Février 2002

TP# 13889 F
Also available in English

Joanne L. Harbluk
Y. Ian Noy
Division de l'ergonomie
La direction de la Sécurité routière et de la réglementation automobile

Moshe Eizenman, **EL-MAR Inc.**

TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	1
1. INTRODUCTION	2
2. BUT ET PORTÉE DE L'ÉTUDE	4
3. METHODE.....	5
3.1 Participants.....	5
3.2 Equipement	5
3.2.1 Vehicule & téléphone cellulaire.....	5
3.2.2 Oculomètre.....	6
3.3 Conception et procédure	7
3.3.1 Procédure de réduction pour les données de l'oculomètre	8
4. RÉSULTATS.....	9
4.1 Analyses du comportement visuel du conducteur	9
4.1.1 Analyses des saccades.....	10
4.1.2 Pourcentage de temps passé à regarder dans la zone centrale et périphérique de la vue vers l'avant	11
4.1.3 Pourcentage de temps passé à regarder les instruments et les rétroviseurs.....	13
4.1.4 Pourcentage de temps passé dans les zones du champ visuel vers l'avant	14
4.1.5 Moyenne du regard vertical	17
4.2 Mesure du contrôle du véhicule : performance du freinage	18
4.2.1 Relation entre le comportement visuel et la performance du freinage	19
4.3 Cotes des charges de travail et cotes de diminution de la sécurité et de la distraction	20
5. DISCUSSION & CONCLUSIONS.....	21
6. RÉFÉRENCES	26
7. NOTES DE L'AUTEUR	30

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. PARTICIPANT PORTANT UN OCULOMÈTRE.....	6
FIGURE 2: NOMBRE MOYEN DE SACCADDES PAR INTERVALLE DE 5 SEC. (+SE)	10
FIGURE 3: PHOTO DU CHAMP VISUEL DE CONDUITE VERS L'AVANT ET DES ZONES À LA DROITE ET À LA GAUCHE AND LEFT	11
FIGURE 4: CHAMP VISUEL VERS L'AVANT AVEC MATRICE SUPERPOSÉE.....	15
FIGURE 5. UN EXEMPLE D'UN PARTICIPANT DU GROUPE QUI REGARDAIT EN BAS SANS TÂCHE ET DANS DES CONDITIONS DE TÂCHE DIFFICILE.	16
FIGURE 6. UN EXEMPLE DE PARTICIPANT DU GROUPE QUI REGARDAIT EN HAUT, SANS TÂCHE ET DANS DES CONDITIONS DE TÂCHE DIFFICILE.	17

FIGURE 7: NOMBRE MOYEN DE FREINAGES DÉPASSANT 0,25 G ET 0,30G (+SE)	19
FIGURE 8. LES EFFETS DE LA COMPLEXITÉ DE LA TÂCHE COGNITIVE SUR LES COTES DE CHARGE DE TRAVAIL (NASA TLX), DE DIMINUTION DE LA SÉCURITÉ ET DE DISTRACTION (+SE)	21

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: POURCENTAGE DU TEMPS PASSÉ À REGARDER AU CENTRE ET DANS LES ZONES PÉRIPHÉRIQUES	12
TABLEAU 2: POURCENTAGE DU TEMPS PASSÉ À REGARDER LES INSTRUMENTS ET LES RÉTROVISEURS	13
TABLEAU 3: NOMBRE DE CONDUCTEURS QUI NE REGARDAIENT PAS DANS CES ZONES	14

Résumé

La distraction et l'inattention du conducteur sont des questions importantes dans la sécurité de la conduite. Comme l'utilisation des technologies à bord des véhicules devient plus populaire, il existe des craintes au sujet d'une hausse parallèle de la distraction du conducteur engendrée par leur usage. Alors que l'introduction du fonctionnement mains libres pour les dispositifs télématiques vise à réduire ou à éliminer la distraction due au fonctionnement manuel de ces appareils, une part importante de la distraction liée à leur usage peut provenir non de la manipulation manuelle de ces dispositifs, mais plutôt des conséquences cognitives de leur usage.

Dans la présente étude, l'impact de la distraction cognitive chez les conducteurs a fait l'objet de recherches dans un contexte routier. Vingt et un conducteurs ont parcouru 8 km de voies urbaines tout en accomplissant des tâches variées en complexité cognitive. Chaque conducteur a parcouru la route dans trois conditions de tâches : en effectuant des problèmes difficiles d'addition (par ex., 47+38), en effectuant des problèmes faciles d'addition, (par ex., 6+9), et sans tâche supplémentaire. Les questions relatives aux additions et les réponses des participants étaient communiquées par un téléphone cellulaire complètement mains libres de manière à ce que les participants n'aient pas à quitter la route des yeux pour faire fonctionner manuellement le téléphone. Des trames de balayage visuel ont été enregistrées à l'aide d'un oculomètre, des mesures de contrôle du véhicule (freinage/décélération longitudinale) ont été obtenues à l'aide du système MicroDAS, et des évaluations subjectives de la charge de travail (NASA TLX), de la sécurité et de la distraction ont été obtenues à l'aide de questionnaires.

Un examen du comportement visuel des conducteurs a montré que, dans des conditions d'accroissement de charge cognitive, ils ont fait moins de saccades, ils ont passé plus de temps à regarder au centre et moins de temps à regarder à la périphérie à droite. Moins de temps était passé à vérifier les instruments et le rétroviseur arrière. Plusieurs conducteurs avaient changé leurs types d'inspection du champ de vision vers l'avant en effectuant les tâches les plus exigeantes. Des différences individuelles marquées ont été observées dans ces types de changements. Le fait d'effectuer les tâches supplémentaires en conduisant a entraîné plus d'incidents de freinage brutal. L'accroissement de la charge cognitive en raison des questions d'addition se reflétait dans les cotes plus élevées de charge de travail et de distraction de même que dans des cotes plus faibles de sécurité de la conduite.

Les résultats de la présente étude indiquent que même lorsque les dispositifs à bord du véhicule sont mains libres, des changements significatifs dans le comportement du conducteur peuvent survenir en raison de la distraction cognitive liée à leur usage. Une meilleure compréhension des façons dont les conducteurs interagissent avec ces dispositifs devrait mener à une amélioration de la conception des dispositifs pour réduire au minimum la distraction.

L'étude recommande l'éducation du public, ainsi que la poursuite des recherches en vue de déterminer la nécessité de réglementer l'équipement d'origine.

1. INTRODUCTION

La distraction du conducteur a été en cause comme facteur contributif dans plus de 20 p. 100 des collisions de véhicules automobiles dans les études sur la causalité des accidents (Wang, Knipling et Goodman, 1996; voir aussi Treat, Tumbas, McDonald, Shinar, Hume, Mayer, Stansifer et Castellan, 1979; Zaidel, Paarlberg et Shinar, 1978). Les craintes au sujet de la distraction et de l'inattention du conducteur ne sont pas nouvelles, pas plus que les craintes que les nouvelles technologies puissent contribuer à la distraction du conducteur. Ce qui est nouveau, c'est la prolifération de technologies communicationnelles disponibles pour les conducteurs et l'éventail d'activités que ces dispositifs à bord entraînent. Aujourd'hui, les conducteurs sont occupés non seulement de se rendre du point A au point B mais également à parler au téléphone cellulaire, à lire des courriels, à recevoir des télécopies et à consulter l'Internet. Certains systèmes, qui fournissent des avis d'accident automatiques ou des avertissements sur les conditions routières, peuvent avoir des avantages du point de vue de la sécurité pour le conducteur et les autres usagers de la route. D'autres systèmes, toutefois, sont présents dans le véhicule uniquement pour la commodité du conducteur ou pour améliorer sa productivité pendant qu'il conduit. Bien que les conducteurs peuvent apprécier la commodité et la productivité accrue que ces technologies offrent, les implications de leur usage du point de vue de la sécurité doivent être prises en considération.

Plusieurs dispositifs à bord exigent de porter une attention visuelle à l'interface du dispositif soit pour entrer manuellement l'information ou soit pour lire l'extrait visuel. En conséquence, quand ces dispositifs sont utilisés, l'attention du conducteur est détournée de la route au dispositif. La technologie de la reconnaissance de la parole a été introduite pour les interfaces à bord des véhicules afin de remédier à ce problème. Le principal avantage de cette technologie est de permettre aux conducteurs d'interagir avec les dispositifs à bord à l'aide de commandes vocales tout en regardant la route et en gardant leurs mains sur le volant. L'hypothèse implicite sous-jacente à l'introduction de ces interfaces est qu'il n'y aura pas de changements notables dans le comportement du conducteur quand des dispositifs mains libres sont utilisés.

Les interactions vocales ne sont pourtant pas sans efforts et les chercheurs en sécurité routière (par ex., Goodman, Tijerina, Bents et Wierwille, 1999; Lee, Caven, Haake et Brown, 2000) ont soulevé des craintes qu'ils puissent aussi avoir le potentiel de distraire les conducteurs et de porter atteinte à la sécurité. Ce qui a été changé, c'est le *mode d'interaction* qui est maintenant vocal, permettant aux conducteurs de maintenir un contact visuel avec leur environnement de conduite. La *nature des interactions* qui sont réalisées à l'aide de ce mode d'interface peut encore comporter une composante cognitive significative qui entraîne une charge de travail accrue pour le conducteur. Cette accroissement de la charge de travail peut à son tour contribuer à la distraction et donc produire un impact important sur le comportement du conducteur. L'accroissement de la demande cognitive expérimentée par les conducteurs qui utilisent des systèmes vocaux peut provenir de deux sources. Premièrement, les conducteurs doivent maintenir un modèle cognitif du dispositif qu'ils utilisent. Selon la nature du dispositif, ceci peut être assez difficile dans le cas des technologies vocales où il n'y a pas de rétroaction manuelle

et peu ou pas de rétroaction visuelle ou auditive. Deuxièmement, et peut-être ce qui est plus important, c'est la composante charge de travail due aux exigences de la transaction qui est effectuée à l'aide du dispositif. On peut s'attendre à ce qu'une conversation d'affaires intense, par exemple, augmente la charge de travail et occasionne plus de distraction qu'une conversation ordinaire. Les téléphones cellulaires sont des outils populaires pour faire des affaires en conduisant. Dans une étude sur les usagers de téléphones cellulaires, McKnight et McKnight (1991) ont rapporté que 72 p. 100 des conversations par téléphone cellulaire étaient des conversations d'affaires. Selon le degré d'importance et de complexité de ces appels, et de l'urgence de leur nature, on peut s'attendre à ce que la distraction du conducteur augmente.

La conduite est un comportement complexe qui exige l'extraction et l'intégration de renseignements de sources multiples dans un effort pour produire un contrôle sûr et efficace du véhicule. Comment ces processus sont-ils touchés par l'usage de dispositifs vocaux interactifs en conduisant? La plupart de l'information liée à la conduite est acquise visuellement; en conséquence, tout changement dans le comportement visuel des conducteurs peut être important pour la sécurité de la conduite. Des recherches passées (par ex., Miura, 1990) ont démontré que les modèles de recherche visuelle peuvent être influencés pas la complexité de l'environnement, comme la route. Il existe, cependant, une preuve supplémentaire que le comportement de recherche visuelle peut également être influencé par des facteurs intrinsèques à la personne. Des travaux anciens effectués par Easterbrook (1959) décrivaient le phénomène où une stimulation émotive agissait pour réduire l'éventail de signaux qui sont utilisés. Dans certaines tâches, la réduction dans l'utilisation de l'éventail de signaux améliore la performance puisque des signaux non pertinents sont exclus. Dans d'autres tâches, toutefois, lorsqu'une bonne performance exige l'utilisation d'un vaste éventail de signaux, la réduction dans l'utilisation des signaux est préjudiciable à la performance

Janelle, Singer et Williams (1999) ont récemment examiné ces idées dans une étude de simulation de course automobile. Leurs résultats ont indiqué qu'à de plus hauts niveaux d'anxiété l'identification des lumières à la périphérie devenait plus lente et moins précise. Ces résultats sont compatibles avec l'idée qu'une émotion éprouvée à l'intérieur (anxiété) réduisait la perception des signaux dans l'environnement. D'autres chercheurs ont examiné les effets de tâches cognitives exigeantes effectuées dans le contexte de la conduite. Dans une étude de simulation de conduite, Parkes et Hooijmeijer (2000) ont rapporté que les conducteurs réagissaient beaucoup plus lentement à un événement inattendu au cours d'une conversation téléphonique. Ils attribuent leurs résultats à une diminution de la conscience de la situation qui est due au niveau de concentration demandé par la conversation téléphonique pendant qu'ils conduisaient. Dans une étude sur la route, Recartes et Nunes (2000) ont examiné les répercussions de l'exécution de tâches cognitives simultanées sur les fixations des yeux des conducteurs. Un expérimentateur dans le véhicule interagissait avec les conducteurs leur demandant d'effectuer des tâches verbales et d'imagerie spatiale. Ils ont rapporté que le champ fonctionnel visuel des conducteurs était réduit verticalement et horizontalement (en particulier dans le cas de la tâche d'imagerie spatiale). De plus, les fixations étaient plus

longues au cours de la tâche d'imagerie spatiale et la fréquence des coups d'œil dans le miroir et à l'indicateur de vitesse étaient moindre.

Prises ensemble, ces études fournissent un appui au concept que la nature d'une tâche cognitive qui est effectuée en conduisant a une influence significative sur le comportement des conducteurs. Même si un dispositif mains libres libère le conducteur d'avoir à faire fonctionner manuellement le dispositif et de le regarder en l'utilisant, la demande cognitive liée à cet usage pourrait encore être considérable. Ces effets pourraient provenir de la demande cognitive d'effectuer la tâche et/ou du contenu émotionnel de la transaction.

Une des plus importantes activités qu'un conducteur doit effectuer dans un environnement de conduite en changement constant est la détermination du moment du freinage et de la force de freinage. Les décisions concernant le freinage sont fondées sur les évaluations des conducteurs de la vitesse, des distances et des angles, de même que sur d'autres facteurs liés à la conduite (Newcomb, 1981). La vision fournit un intrant essentiel dans les décisions de freinage (Lee, 1976). Afin de prendre les bonnes décisions concernant le freinage, les conducteurs doivent être activement engagés dans la surveillance, la collecte et la synthèse d'informations appropriées provenant de l'environnement. Lorsqu'un conducteur est distrait par une tâche dans le véhicule, l'inattention qui en résulte quant à la conduite peut réduire ou retarder la capacité du conducteur d'estimer ces paramètres et, en conséquence, retarder la décision quant au moment où le freinage devrait débiter. Dans une étude sur une piste d'essai, Hancock, Simmons, Hashemi, Howarth et Ranney (1999) ont fait conduire des personnes tout en effectuant une tâche dans le véhicule qui exigeait que les conducteurs répondent à l'aide d'un écran tactile. En présence de la tâche distrayante dans le véhicule, on a observé des temps de réponse plus lents à un changement du feu de signalisation. On a aussi remarqué que lorsqu'ils s'étaient rendu compte que le feu avait changé, les conducteurs freinaient de façon plus intense en tentant de compenser pour leur détection tardive. Irwin, Fitzgerald et Berg (2000) ont également rapporté un retard dans le temps de réaction dans un comportement de freinage fictive où les participants étaient engagés dans une conversation téléphonique sans fil.

2. BUT ET PORTÉE DE L'ÉTUDE

La distraction du conducteur est reconnue comme une des causes les plus communes de collisions routières. L'objectif de la présente étude était d'examiner directement l'impact de la distraction cognitive, le genre qui peut se produire lorsque l'on fait usage de dispositifs de communication mains libres à bord d'un véhicule, sur le comportement de conduite en réalité dans la circulation routière et urbaine. Les tâches exigées des conducteurs étaient entièrement transmises à l'aide de la technologie, non par interaction avec une personne dans le véhicule. Les interactions à l'aide du dispositif à bord du véhicule (téléphone cellulaire) étaient entièrement mains libres, les conducteurs n'avaient pas à regarder l'affichage ou à le régler manuellement. Le niveau de distraction

cognitive était manipulé en faisant exécuter les tâches par les conducteurs à trois niveaux de complexité cognitive.

Des mesures de trois types de comportement de conduite ont été recueillies : comportement visuel, contrôle du véhicule (tel qu'indiqué par le comportement de freinage) et évaluations subjectives des conducteurs quant à la charge de travail, à la sécurité et à la distraction. Les mouvements des yeux des conducteurs ont été enregistrés pendant qu'ils conduisaient pour évaluer tout changement dans le comportement visuel qui pouvait survenir à la suite de l'exécution des tâches cognitives. Le comportement de freinage des conducteurs a été enregistré reflétant son importance dans le contrôle du véhicule. Des recherches antérieures effectuées par Hancock *et al.* (1999) laissaient entendre que les conducteurs démontreraient plus d'incidents de freinage brutal s'ils étaient distraits que s'ils ne l'étaient pas. Finalement, dans un effort pour évaluer jusqu'à quel point les conducteurs surveillaient les effets de l'usage de ces dispositifs sur leur performance de conduite, des évaluations subjectives ont été recueillies sur la charge de travail, la sécurité et la distraction dans les diverses conditions de tâches. Des préoccupations avaient été soulevées selon lesquelles les conducteurs ne pas se rendre compte lorsque les tâches à bord du véhicules étaient distrayantes et donc qu'ils ne compensaient pas en modifiant leur tâche ou leur comportement de conduite (par ex., Boase, Hannigan et Porter, 1988). Une description du plan de recherche de la présente étude (Harbluk, Noy et Eizenman, 2000) a été présenté dans le cadre du *Driver Distraction Internet Forum* de la NHTSA qui s'est tenu à l'été 2000.

3. MÉTHODE

3.1 Participants

Vingt et un participants (9 femmes et 12 hommes) âgés de 21 à 34 ans ($M=26,50$; $ET=4,71$) ont pris part à la présente étude. Tous possédaient un permis de conduire valide, ils étaient assurés et étaient des conducteurs expérimentés (minimum de 5 ans d'expérience de conduite; $M=9,70$; $ET=4,26$) qui parcouraient 10 000 km ou plus par année. Ils avaient une bonne vision ou ils portaient des verres de contact. Les participants avaient été recrutés par une annonce parue dans un journal local et ont reçu 50,00 \$ pour leur participation.

3.2 Équipement

3.2.1 Véhicule et téléphone cellulaire

Les participants ont conduit une Toyota Camry 1999 (propriété de Transports Canada qui en assure l'entretien) équipée d'un frein de sécurité supplémentaire du côté passager à l'avant où l'expérimentateur s'asseyait. Le sac gonflable du conducteur avait été désactivé pendant la durée de l'étude. Le véhicule était équipé d'un système de collecte de données Micro-DAS qui est capable d'enregistrer un certain nombre de

paramètres de conduite, y compris l'accélération latérale et longitudinale, l'angle du volant de direction, l'activation des freins et la position de la voie (Barickman et Goodman, 1999).

Un téléphone cellulaire Nokia modèle 5160 a été utilisé avec un microphone (fixé au montant supérieur de gauche) et un haut-parleur (monté sous le tableau de bord). Il est demeuré dans son support (ensemble de voiture Nokia) monté à droite de la console, qui est l'emplacement typique, pour la durée de l'étude.

3.2.2 Oculomètre

En conduisant, les participants portaient un oculomètre portable (VISION 2000; EL-MAR Inc) tel que montré à la Figure 1. L'appareil est léger (300 g) et il est muni d'une visière (70 g) pour filtrer les infrarouges, son effet visuel est comparable à celui de lunettes de soleil. L'appareil ne restreint pas le mouvement de la tête et n'entrave pas la vision vers l'avant ou la périphérie (Eizenman, Jares et Smiley, 1999).

Le système portable comprend un oculomètre monté sur la tête avec une caméra de scène, une unité de traitement centrale et un magnétoscope. La partie du système montée sur la tête comprend deux sources de lumière infrarouge qui illuminent l'oeil, un séparateur de faisceaux de plastique incassable qui est placé sous la ligne de vision et qui redirige la lumière infrarouge réfléctée à une caméra à dispositif de couplage de charge qui est placée au-dessus de l'oeil. L'oculomètre utilise la différence entre le centre de la pupille et deux reflets cornéens (les images virtuelles de deux sources lumineuses) pour mesurer la position horizontale et verticale de l'oeil. Le système peut mesurer les mouvements de l'oeil jusqu'à +/- 45 degrés horizontalement (H) et jusqu'à +/- 35 degrés verticalement (V). Le système estime la position de l'oeil 120 fois/sec. et a une résolution meilleure que 0,2 degré. L'exactitude du système est meilleure que +/- 0,5 degré pour le champ visuel central (+/- 15 H et V) et diminue à +/- 1 degré aux limites (Wetzel, Poprik et Bascom, 1996).



FIGURE 1. PARTICIPANT PORTANT UN OCULOMÈTRE

Dans l'unité de traitement centrale, les coordonnées horizontales et verticales de la position de l'oeil sont converties en mouvements d'un curseur qui est électroniquement combiné avec l'imagerie d'une caméra de scène couleurs miniature. L'imagerie et la position du curseur combinée sont enregistrées dans le magnétophone. La caméra de scène miniature (Elmo, Nagoya, Japan, Model CC421E) possède un large champ de vision ($92,1^{\circ}$ (H) * $69,1^{\circ}$ (V) degrés) et elle est montée à la hauteur des yeux à 2 cm à droite de l'œil droit.

3.3 Conception et procédure

Une conception unidirectionnelle de mesures répétées a été utilisée. L'ordre de la présentations des conditions de tâches (deux niveaux de complexité d'addition mentale et de condition de contrôle) était équilibré parmi les participants.

Après une brève description des procédures et de ce à quoi s'attendre, le formulaire de consentement a été rempli. Des informations sur le conducteur ont été recueillies, consistant en un historique en matière de conduite (année de l'obtention du permis, kilométrage annuel parcouru, renseignements sur les assurances) de même que le nom, l'âge et l'adresse. Le participant, l'expérimentateur et l'assistant de recherche se sont ensuite rendus en voiture jusqu'au début du parcours. Avant le parcours effectivement enregistré, le participant a reçu des directives concernant la procédure spécifique, les tâches et l'oculomètre. Le participant a mis l'oculomètre (non étalonné) et a conduit un parcours d'essai d'environ 15 minutes afin de se familiariser avec le véhicule, l'oculomètre et les tâches requises. Il y a eu une brève pause au cours de laquelle le participant a enlevé l'oculomètre.

Après la pause, l'oculomètre a été étalonné sur le participant. Durant l'étalonnage, on a demandé au sujet de regarder 10 points sur un diagramme qui était placé à 60 centimètres en face du sujet. À la fin de l'étalonnage de l'oculomètre, on a demandé au sujet de regarder trois points à l'extérieur du véhicule (environ 5 mètres de l'œil du sujet) pour un alignement de la caméra de scène. Au cours de l'alignement, le curseur de la position de l'œil a été réglé pour coïncider avec la position du point fixe sur l'imagerie de la caméra.

Le parcours d'essai était une bande de 4 km d'une route urbaine à 4 voies que le conducteur a parcouru du nord au sud pendant un total de 8 km par condition. La limite de vitesse affichée était de 50 km/h. Chaque participant a parcouru trois tours, chacun dans une des conditions de tâche suivantes : addition facile (par ex., 6+9), addition difficile (par ex., 47+38) ou aucune tâche supplémentaire. Un assistant de recherche placé à un endroit éloigné conversait avec le conducteur à l'aide d'un téléphone cellulaire, demandait les questions d'additions et enregistrait les réponses. Après chaque tour, il y avait une brève pause (5 à 10 minutes) au cours de laquelle l'oculomètre était enlevé. Durant ce temps, le participant prenait une pause-repos et remplissait une version modifiée du questionnaire NASA-TLX (Hart et Staveland, 1988) pour évaluer la charge de travail et répondait à des questions supplémentaires au sujet de la sécurité de la

conduite et de la distraction liées à la séance qu'il venait de subir. Cette procédure a été répétée pour les trois parcours que chaque participant a effectué.

À la fin des expériences d'essai, chaque participant a été interrogé pour connaître ses opinions au sujet de la sécurité perçue, pour savoir s'il avait l'impression que son comportement de conduite était influencé par les tâches et quels comportements, le cas échéant, il avait intentionnellement modifiés en raison des conditions de tâche.

3.3.1 Procédure de réduction pour les données de l'oculomètre

Les données du magnétophone ont été analysées par un logiciel d'analyse de fixation automatisé (FAST, EL-MAR Inc.). Le système d'analyse automatisé fournit deux flux de données statistiques. Le premier est lié aux mouvements de l'œil et à la dynamique de la pupille (c.-à-d., saccades, diamètres de la pupille, clignotements), alors que le deuxième est lié au comportement de fixation sur les objets qui sont dans le champ de vision du participant. Pour chaque participant, les données pour le parcours dans chaque condition ont été segmentées de manière à ne pas inclure les périodes où la voiture était stationnaire. Chacun de ces intervalles de temps commençait 5 secondes après que la voiture avait commencé à se déplacer et se terminait 5 secondes avant que la voiture ne s'arrête.

Le nombre et l'amplitude des saccades des conducteurs pendant l'exécution des différentes tâches ont été calculés. Ces données ont été calculées pour des intervalles de 5 secondes dans les segments de conduite. Les saccades ont été détectées automatiquement en déterminant les séquences de mouvements des yeux avec des vitesses de crête absolues qui dépassent 30 deg./sec. L'utilisation de ce seuil garantit que les saccades d'une amplitude de 1 degré seront facilement détectées (la vitesse moyenne de crête pour une saccade de 1 degré est de 50 deg./sec.). Pour chacune de ces séquences, le début et la fin de chaque saccade étaient déterminés par les deux premiers passages à zéro à gauche et à droite de la vitesse de crête. Si la durée de la séquence détectée était de moins de 120 msec (plus longue que la durée d'une saccade de 30 degrés), la séquence était identifiée comme une saccade et était incluse dans l'analyse statistique. Les estimations de la vitesse de l'œil ont été obtenues en faisant le calcul de la différentielle des données de la position de l'œil avec un différentiateur à 5 points FIR. Le différentiateur avait une largeur de bande de plus de 20 Hz.

Afin de déterminer les éléments qui sont fixés par le participant dans une scène visuelle, le système d'analyse automatisé calcule l'intersection du vecteur de la ligne de vision et de la scène observée. Pour faciliter cette analyse, trois cibles de référence distinctes avaient été placées le long de la planche de bord de la voiture de manière à maximiser la probabilité que les mouvements de la tête anticipés à au moins deux cibles de référence apparaissent dans le champ de vision de la caméra de scène dans chaque vidéo.

La procédure d'analyse débute par l'identification manuelle des marqueurs de référence et des objets d'intérêt (c.-à-d., rétroviseur de gauche, rétroviseur central, etc.)

dans un seul cadre vidéo. Le cadre vidéo est capté de la bande-vidéo par un saisisseur d'image qui fait partie du système FAST. Après cette procédure initiale, le logiciel d'analyse recherche automatiquement les coordonnées des cibles de référence dans tous les cadres vidéos subséquents. En se servant des cibles de référence comme correspondances ponctuelles, le logiciel d'analyse automatisé calcule le mappage point à point entre n'importe quel cadre vidéo et le premier (c.-à-d., les coordonnées des objets d'intérêt dans chaque cadre vidéo sont calculées). À l'aide des limites calculées des objets d'intérêt et des données sur la position de l'œil provenant de l'oculomètre, le système calcule des statistiques de fixation sur les objets d'intérêt. Le temps de fixation sur un objet précis est défini comme le temps total passé dans les limites de l'objet. Dans la présente étude, le temps consacré au rétroviseur central, au rétroviseur de gauche, au rétroviseur de droite, au tableau de bord et au téléphone cellulaire a été calculé. Pour étudier les changements dans les modèles de balayage visuel dans les zones de vision vers l'avant, le temps de fixation sur les parties centrales du pare-brise (15, 25, 35 et 50 degrés) ainsi que le temps de fixation dans les zones du pare-brise à gauche et à droite des 50 degrés du centre ont été calculés. Pour étudier les modèles de balayage visuel de la route plus en détails, la partie centrale $44^{\circ} \times 20^{\circ}$ du pare-brise a été segmentée en une matrice de 55 cellules (55 cellules de 4×4 degrés) et le temps de fixation dans chaque matrice a été calculé. Afin de déterminer si la charge cognitive modifiait la distance de fixation préférée ou la direction dans la vue vers l'avant, la moyenne de la position de l'œil dans le pare-brise a également été calculée pour chacune des tâches cognitives.

4. RÉSULTATS

Des tâches cognitives exigeantes peuvent influencer sur le comportement des conducteurs de différentes façons. Dans une tentative pour saisir la complexité de cet impact, trois catégories de mesures dépendantes ont été recueillies : le comportement visuel, le contrôle du véhicule (tel qu'indiqué par le comportement de freinage) et les évaluations subjectives des conducteurs concernant la charge de travail, la sécurité et la distraction.

4.1 Analyses du comportement visuel du conducteur

Plusieurs types d'analyses ont été effectuées sur le comportement visuel des conducteurs alors qu'ils conduisaient dans trois conditions de tâches. Tout d'abord, les comparaisons des saccades des yeux dans les différentes conditions de tâches ont été examinées. Ensuite, des calculs ont été faits du pourcentage de temps que les conducteurs avaient passé à regarder dans la zone directement en avant d'eux (15° au centre du pare-brise) et dans les zones périphériques de gauche et de droite, de même que le pourcentage de temps que les conducteurs avaient passé à regarder à des endroits précis (instruments, rétroviseur arrière, rétroviseur de gauche et rétroviseur de droite). Finalement, afin de permettre une caractérisation plus détaillée des changements dans le comportement visuel qui résultent de l'accroissement de la demande cognitive, des

courbes de densité ont été produites montrant le temps que les conducteurs avaient passé à regarder vers l'avant.

4.1.1 Analyses des saccades

Les saccades sont des mouvements balistiques de l'œil à grande vitesse qui facilitent l'exploration du champ visuel. Des comparaisons ont été effectuées du nombre moyen de saccades par intervalle de 5 secondes faites par les conducteurs dans les différentes conditions de conduite.

Comme on peut le voir à la figure 2, les conducteurs ont fait beaucoup moins de saccades à mesure que la tâche liée au téléphone cellulaire augmentait la demande cognitive ($F_{(2,40)} = 7,27$, $p < 0,002$). Le nombre moyen de saccades était significativement plus bas dans les conditions d'additions difficiles (6,72) que dans les conditions d'additions faciles (7,42) ou sans tâche (7,53) ($p_s < 0,003$). Même si les participants ont fait moins de saccades dans les conditions d'additions faciles en comparaison de sans tâche, cette différence n'est pas fiable ($p > 0,05$).

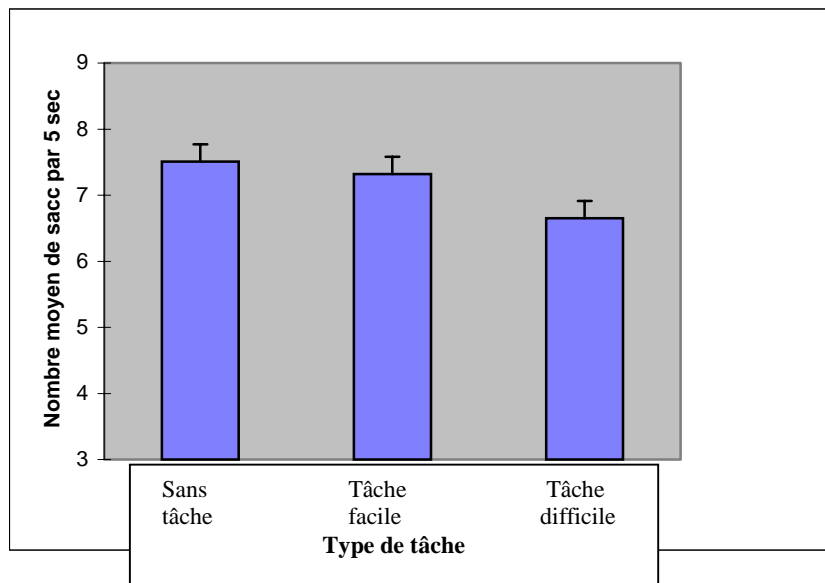


FIGURE 2: NOMBRE MOYEN DE SACCADES PAR INTERVALLE DE 5 SEC. (+SE)

Lorsque la performance des sujets individuels a été examinée, on a trouvé que 15 des 21 sujets montraient une diminution dans le nombre de saccades dans des conditions d'additions difficiles en comparaison de sans tâche.

4.1.2 Pourcentage de temps passé à regarder dans la zone centrale et périphérique de la vue vers l'avant

Les recherches antérieures avaient laissé entendre qu'à mesure que la tâche de travail augmentait, il y avait une tendance à une « réduction de l'attention visuelle » ou à un « effet tunnel de la perception » où il y avait une augmentation du temps passé à regarder droit devant ainsi qu'une réduction simultanée de la détection des stimuli périphériques. Miura (1990) a rapporté ce type d'effet comme conséquence des demandes imposées par la complexité de l'environnement de conduite dans une étude sur route. Janelle, Singer et Williams (1999) ont rapporté un effet semblable où ils avaient manipulé les niveaux d'anxiété des participants. Ils ont trouvé que les participants qui étaient très anxieux avaient une capacité altérée pour acquérir des informations périphériques au niveau perceptif. Ils interprètent leurs résultats en fonction de Easterbrook (1959) qui posait en principe que les actes suscités par l'émotivité réduisent l'éventail de signaux environnementaux qui sont utilisés.



FIGURE 3: PHOTO DU CHAMP VISUEL DE CONDUITE VERS L'AVANT ET DES ZONES À LA DROITE ET À LA GAUCHE

Dans la présente étude, on a examiné les changements qui pouvaient survenir lorsque les conducteurs sont engagés dans une source de distraction cognitive en conduisant. La figure 3 donne un exemple du champ de vision vers l'avant du conducteur et illustre les zones d'intérêt. La zone centrale (15° au centre) représente la zone directement en face du véhicule dans la même voie. Les zones à la gauche et à la droite sont celles qui s'étendent sur la gauche et sur la droite au-delà de 50° au centre. Comme les conducteurs conduisaient régulièrement dans la voie la plus à gauche des deux voies, la zone à la gauche représente dans une large mesure la circulation qui vient

en sens inverse. La zone à la droite représente la voie à la droite de celle dans laquelle les participants conduisaient.

Le tableau 1 présente les pourcentages moyens du temps de conduite passé à regarder devant au centre et dans les zones les plus à la gauche et à la droite (tel que montré à la figure 3) en conduisant et en effectuant les tâches cognitives. Ces pourcentages sont basés sur le temps passé à regarder dans la zone d'intérêt divisé par le temps total pour lequel il y a des données d'oculomètre disponibles dans la condition d'intérêt. (Les pourcentages n'égalent pas 100 puisque ce ne sont pas toutes les zones qui sont incluses.)

	Périphérie à la gauche	15° au centre	Périphérie à la droite
Aucune tâche	0,73	78,63	2,09
Tâche facile	0,65	80,84	2,19
Tâche difficile	0,55	82,68	1,56

TABLEAU 1. POURCENTAGE DU TEMPS PASSÉ À REGARDER AU CENTRE ET DANS LES ZONES PÉRIPHÉRIQUES

Les données pour la zone de 15° au centre indiquent que les conducteurs ont passé plus de temps à regarder droit en avant à mesure que les exigences des tâches augmentaient ($F_{(2,40)} = 3,62$, $p=0,03$), ce qui est conforme au concept de la réduction de l'attention visuelle. Les analyses ultérieures ont révélé que seule la différence entre sans tâche et dans des conditions de tâches difficiles était significative ($p < 0,04$). Un examen de la performance individuelle des conducteurs a révélé que cette augmentation s'échelonnait de 13 to 38 p. 100 pour 6 des 21 conducteurs, en fonction de l'augmentation du pourcentage relatif à la condition aucune tâche. Ce qui est évident à partir de cette analyse, c'est que le passage de sans tâche à une tâche difficile entraînait une augmentation du temps passé à regarder dans la zone centrale du champs de vision vers l'avant.

Les analyses du temps passé à regarder dans la zone périphérique de gauche ont révélé une réduction en pourcentage du temps passé dans ces zones comme une conséquence de l'accroissement de la difficulté de la tâche, mais aucune des comparaisons par paire ne s'est approchée du seuil de signification ($ps > 0,05$).

Dans la zone périphérique de droite, les conducteurs ont passé moins de temps à regarder à la droite à mesure que la tâche cognitive devenait plus exigeante ($F_{(2,40)} = 3,17$, $p=0,05$). Des comparaisons ultérieures ont révélé que les conducteurs avaient passé moins de temps à regarder dans la zone périphérique de droite en effectuant une tâche difficile en comparaison d'une tâche facile ($p < 0,02$) et d'aucune tâche ($p < 0,05$).

Lorsque la performance individuelle des conducteurs a été examinée, 14 des 21 conducteurs ont montré une diminution du temps passé à regarder à la périphérie de droite. Pour 8 des conducteurs, cette différence représentait une diminution de 70 p. 100 ou plus du temps passé (en fonction du pourcentage de diminution par rapport à aucune tâche). Pour un de ces conducteurs, il y avait une diminution de 100 p. 100, indiquant qu'il n'avait pas regardé du tout dans cette zone en effectuant la tâche difficile tout en conduisant.

En somme, les conducteurs ont passé plus de temps à regarder droit devant en effectuant les tâches cognitives exigeantes tout en conduisant, ce qui est conforme au concept du rétrécissement de la zone d'inspection visuelle en raison de la distraction cognitive. En conséquence, ils ont passé moins de temps à regarder à la périphérie, mais cet effet était asymétrique et observé seulement dans la zone de droite. Le manque de différence pour la zone de gauche peut être dû au pourcentage relativement faible de temps passé à regarder dans la zone même sans tâche supplémentaire. La zone de gauche représentait un environnement de conduite relativement moins exigeant (une ligne médiane était en place sur une partie de la route) par rapport à celle de droite où les conducteurs devaient surveiller la circulation de plus près en raison d'incidents tels que des véhicules qui dépassent et des véhicules qui changent de voie. Il est à remarquer que pour certains individus le changement dans le temps passé à regarder (augmentation/diminution) était considérable.

4.1.3 Pourcentage du temps passé à regarder les instruments et les rétroviseurs

On a procédé à des analyses du pourcentage de temps de conduite que les sujets avaient passé à regarder les instruments et les rétroviseurs. Les données du tableau 2 représentent le pourcentage moyen de temps que les conducteurs ont passé à regarder à ces endroits précis tout en conduisant dans chacune des trois conditions de tâches. (Les pourcentages n'égalent pas 100 puisque ce ne sont pas toutes les zones qui sont incluses.)

	Instruments	Rétroviseur arrière	Rétroviseur de gauche	Rétroviseur de droite
Aucune tâche	1,48	1,56	0,24	0,13
Tâche facile	1,18	1,36	0,28	0,11
Tâche difficile	0,63	0,91	0,18	0,11

TABLEAU 2. POURCENTAGE DU TEMPS PASSÉ À REGARDER LES INSTRUMENTS ET LES RÉTROVISEURS

Il y avait une tendance générale chez les conducteurs à passer moins de temps à regarder dans ces zones à mesure que la difficulté de la tâche augmentait. Les comparaisons prévues ont indiqué une réduction significative dans le pourcentage de temps passé à regarder les instruments et le rétroviseur arrière à mesure que la difficulté de la tâche augmentait. Ces différences étaient significatives dans les comparaisons entre sans tâche et dans une condition de tâche d'addition difficile dans le cas de la zone des instruments ($p < 0,001$) et de celle du rétroviseur arrière ($p \leq 0,05$). Dans l'analyse pour les instruments, il y avait aussi une diminution significative du temps passé à regarder les instruments quand la condition d'addition difficile était comparée avec celle d'addition facile ($p < 0,001$).

Pour les rétroviseurs de gauche et de droite, il y avait une tendance chez les conducteurs à passer moins de temps à regarder dans ces zones à mesure que les exigences de la tâche augmentaient. Aucune de ces comparaisons ne s'est toutefois avérée significative.

Le tableau 3 fournit des données sur le nombre de conducteurs qui n'ont pas surveillé des zones précises en conduisant dans les diverses conditions de tâches. Tous les conducteurs ont regardé les instruments et le rétroviseur arrière lorsqu'ils n'avaient pas à effectuer de tâches supplémentaires en conduisant. Il y avait une tendance chez certains conducteurs à délaissier les instruments et le rétroviseur arrière à mesure que la charge cognitive augmentait. Dans le cas des rétroviseurs de gauche et de droite, le nombre de conducteurs qui ne regardaient pas dans ces zones augmentait à mesure que la difficulté de la tâche augmentait.

	Instruments	Rétroviseur arrière	Rétroviseur de gauche	Rétroviseur de droite
Aucune tâche	Tous les conducteurs regardaient	Tous les conducteurs regardaient	2	6
Tâche facile	1	Tous les conducteurs regardaient	5	9
Tâche difficile	2	2	7	13

TABLEAU 3. NOMBRE DE CONDUCTEURS QUI NE REGARDAIENT PAS DANS CES ZONES

4.1.4 Pourcentage de temps passé dans les zones du champ visuel vers l'avant

Afin de fournir une caractérisation plus détaillée du comportement de fixation des yeux des conducteurs en fonction de la tâche cognitive, le champs visuel de conduite vers l'avant (44°) a été segmenté en une matrice de 55 cellules (11 dans le plan horizontal et 5

dans le plan vertical). Un exemple du champ visuel vers l'avant avec la matrice superposée est présenté à la figure 4.



FIGURE 4 : CHAMP VISUEL VERS L'AVANT AVEC MATRICE SUPERPOSÉE

Des résumés du pourcentage de temps passé dans chacune des cellules de la matrice dans les conditions sans tâche et d'additions difficiles ont été préparés pour chaque conducteur. La décision a été prise d'examiner ces deux conditions parce qu'elles représentent les conditions de plus grand changement.

Les modèles de changement dans le comportement visuel en fonction de la tâche cognitive n'étaient pas homogènes. On a remarqué que les participants semblaient montrer un des trois types de changement. En conséquence, les conducteurs ont été classés en groupes en fonction du type de changement qu'ils montraient dans leur comportement de fixation des yeux lorsque leurs données dans des conditions de tâches d'additions difficiles étaient comparées avec celles de sans tâche (référence). Trois principaux groupes de conducteurs ont émergé : ceux qui regardaient en bas (n=5), ceux qui regardaient en haut (en haut et vers la gauche; n=8) et ceux qui avaient tendance à regarder vers le centre ou qui ne montraient aucun modèle particulier (n=8). Des données typiques pour les sujets qui regardaient en bas (figure 5) et pour ceux qui regardaient en haut (figure 6) sont présentées ci-dessous. Les endroits où les conducteurs ont passé plus de 3 p. 100 de leur temps sont codés en couleurs dans les matrices.

Les résultats des recherches antérieures présentent un portrait mixte sur la question d'où les conducteurs regardaient en conduisant et de ce que sont les influences importantes dans ce comportement. Des travaux anciens effectués par Mourant et Rockwell (1972) examinant les compétences des conducteurs ont fait rapport de différences entre des conducteurs expérimentés et des conducteurs novices, en particulier

que les novices concentraient leur recherche dans une petite zone, plus près du devant du véhicule que ne le faisaient les conducteurs expérimentés. Chapman et Underwood (1998) ont trouvé le contraire, notamment que les conducteurs plus âgés et plus expérimentés regardaient en général plus vers le bas (plus près du devant de leur véhicule) et que les novices regardaient en général plus vers l'avant. Recartes et Nunes (2000) ont récemment rapporté que, quand les conducteurs doivent effectuer une tâche mentale de nature spatio-visuelle en conduisant, cette direction de la fixation du regard s'élevait.

Les incohérences dans la documentation soulignent le besoin d'une meilleure compréhension des variables environnementales pertinentes, des exigences secondaires des tâches et des caractéristiques individuelles des conducteurs et de la manière dont ces variables peuvent interagir pour influencer sur le comportement visuel du conducteur. Une considération des exigences spécifiques des tâches et une compréhension des différences individuelles dans les stratégies utilisées pour effectuer les tâches pourraient s'avérer utiles. Par exemple, plusieurs conducteurs dans la présente étude (le groupe qui regardait en haut et vers la gauche) ont rapporté qu'ils avaient tenté de résoudre le problème d'addition difficile en se créant une représentation spatio-visuelle de l'addition. Ils ont rapporté avoir regardé en haut et vers la gauche en tentant de résoudre ces problèmes. Ces rapports isolés sont conformes à la distribution des regards comme conséquence de processus cérébraux difficiles faite par Kinsbourne (1974). Son raisonnement était que les sujets qui tentaient de résoudre un problème spatial poseraient leur regard en haut ou en haut et vers la gauche et que ceci surviendrait en raison d'un déplacement controlatéral du regard de l'hémisphère droit qui était occupé par le traitement (spatial). Les chercheurs ont noté qu'il existe des différences individuelles dans les stratégies utilisées pour résoudre des problèmes arithmétiques (Geary et Wiley, 1991). Donc, l'interaction de la stratégie choisie pour effectuer l'addition, de l'habileté à la tâche et à la conduite et de la capacité de la mémoire opérationnelle (Baddeley, 1981) pouvait contribuer aux différences individuelles dans le comportement visuel qui sont observées lorsque des personnes sont occupées à des tâches cognitives en conduisant.

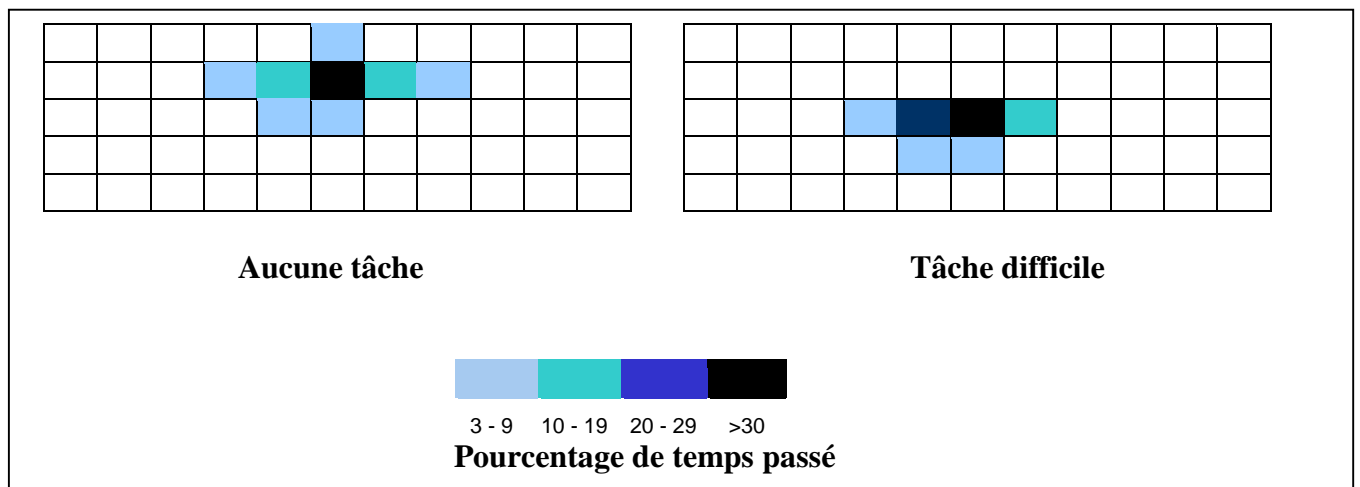


FIGURE 5. UN EXEMPLE D'UN PARTICIPANT DU GROUPE QUI REGARDAIT EN BAS SANS TÂCHE ET DANS DES CONDITIONS DE TÂCHE DIFFICILE.

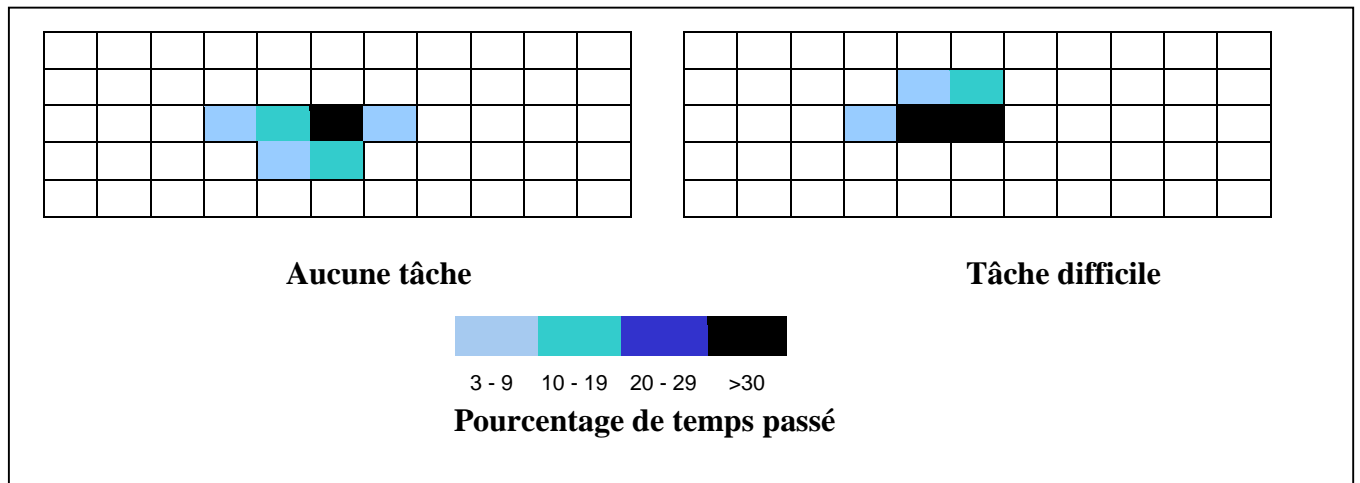


FIGURE 6. UN EXEMPLE DE PARTICIPANT DU GROUPE QUI REGARDAIT EN HAUT, SANS TÂCHE ET DANS DES CONDITIONS DE TÂCHE DIFFICILE.

En somme, deux choses sont apparentes à partir des données actuelles. La première est que tous les conducteurs changent leurs modèles de comportement visuel en effectuant des tâches cognitives exigeantes tout en conduisant. La deuxième est qu'il existe clairement des différences individuelles dans les modèles de comportement visuel exposés par les conducteurs qui peuvent être une conséquence d'une stratégie utilisée pour effectuer les tâches.

4.1.5 Moyenne du regard vertical

Un examen des données sur la moyenne du regard vertical a été effectué en fonction des groupes de sujets décrits dans la section précédente. Cette analyse, qui examine particulièrement la différence dans l'emplacement de la moyenne Y entre la condition sans tâche et la condition d'addition difficile (ce qui fournit les meilleures comparaisons) révèle que, pour certains conducteurs, il y avait des différences notables dans le comportement visuel dans le déroulement des conditions de tâches. Pour le groupe de conducteurs qui avaient tendance à porter leur regard vers le bas au cours de la tâche difficile, le déplacement moyen dans le regard vertical était de 2,30 degrés. Pour certains conducteurs, le déplacement du regard vers le bas était aussi élevé que 4,41 degrés. Pour le groupe qui avait tendance à déplacer leur regard vers le haut, le déplacement moyen était de 1,28 degré (aussi élevé que 2,13 degrés). Un déplacement moyen de 0,27 degré a été observé pour le groupe qui ne montrait aucun modèle ou de déplacement particulier. Ces données fournissent un appui numérique pour les groupes présentés dans la section précédente en fonction de l'examen du champ de vision vers l'avant. Une comparaison de l'emplacement de la moyenne du regard vertical pour ces groupes indique que toutes les comparaisons par paires étaient significativement différentes (tous $t_s > 3,24$, $p_s < 0,05$).

4.2 Mesure du contrôle du véhicule : performance du freinage

Les données continues de conduite des conducteurs pour le parcours de 8 km ont été codées pour des incidents de freinage distincts qui représentaient des freinages brutaux. Des données sur le freinage étaient disponibles seulement pour 16 des 21 participants en raison de défauts de l'équipement MicroDas. Les taux de décélération longitudinale ont été échantillonnés à une fréquence de 30Hz.

Deux seuils de performance distincts ont été utilisés pour définir l'occurrence de freinages brutaux. La première analyse prenait en considération les décélérations de plus 0,25 g. La deuxième analyse a utilisé un seuil plus rigoureux, des décélérations de plus de 0,30 g. Les procédés de catégorisation étaient fondés sur des travaux antérieurs indiquant que dans des conditions normales de conduite seulement environ 10 p. 100 de toutes les décélérations dépassaient 0,25 g et moins de 3 p. 100 dépassaient 0,30 g (Mortimer, Segel et Dugoff, 1970), indiquant que ce sont des incidents relativement rares. La grande majorité des freinages brutaux (85 p. 100) étaient survenus à des intersections dotées de signalisation.

La figure 7 présente le nombre moyen de freinages qui dépassent 0,25 g dans chacune des trois conditions de tâches. Il y a eu un total de 291 freinages dans cette catégorie. Leur occurrence augmentait en parallèle avec les conditions de tâches avec une moyenne d'occurrence de 5,06 sans tâche, de 6,31 dans des conditions de tâches faciles et de 6,88 dans des conditions de tâches difficiles. Les comparaisons prévues ont révélé qu'un nombre significativement plus élevé de ces freinages étaient survenus dans des conditions de tâches difficiles en comparaison de sans tâche ($t_{(15)} = 2,40$, $p < 0,05$). Bien que le nombre de freinages dans des conditions de tâches faciles (6,31) ait dépassé celui dans des conditions sans tâche (5,06), cette différence ne faisait que s'approcher du seuil de signification ($t_{(15)} = 1,66$, $p = 0,06$). Douze participants sur 16 ont montré une augmentation dans le nombre de freinages brutaux alors qu'ils conduisaient en effectuant une tâche additionnelle (addition facile ou difficile) en comparaison de ceux qui conduisaient sans autre tâche.

L'utilisation du seuil de 0,30 g a donné lieu à un total 143 freinages brutaux parmi tous les participants. Ces données sont également présentées à la figure 7. Comme dans l'analyse précédente, une augmentation dans le nombre de freinages s'est produite à mesure que les exigences des tâches augmentaient. Il y a eu une occurrence moyenne de 2,38 freinages dans les conditions sans tâche, de 3,25 dans les conditions de tâches faciles et de 3,38 dans les conditions de tâches difficiles. Les comparaisons prévues ont indiqué que le nombre de freinages augmentait significativement de sans tâche à des conditions de tâches faciles et de sans tâche à des conditions d'additions difficiles (tous $t_{(15)} > 1,77$, $p < 0,05$). Dans cette analyse, 11 des 16 participants ont montré une augmentation des freinages brutaux lorsqu'ils effectuaient des tâches supplémentaires (additions faciles ou difficiles) tout en conduisant en comparaison de ceux qui conduisaient sans autre tâche.

Peu importe le seuil utilisé pour déterminer le nombre de freinages, l'incidence des freinages augmentait lorsque les conducteurs effectuaient des tâches cognitives exigeantes tout en conduisant. D'autres analyses sont prévues pour examiner l'incidence

du freinage en général et les modèles de freinage en fonction de la tâche à des intersections dotées de signalisation et en suivant d'autres véhicules.

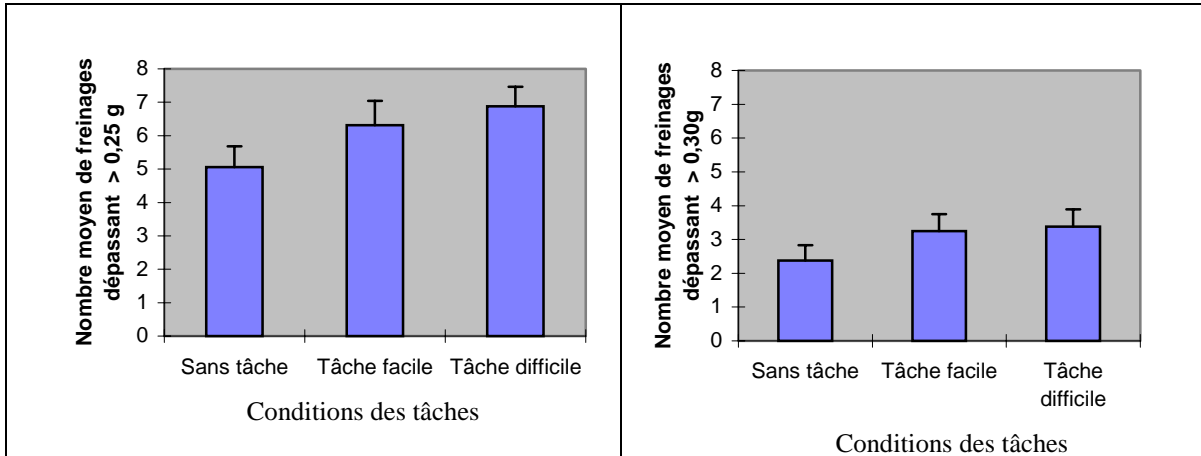


FIGURE 7 : NOMBRE MOYEN DE FREINAGES DÉPASSANT 0,25 G ET 0,30G (+SE)

4.2.1 Relation entre le comportement visuel et la performance du freinage

Les informations visuelles sont considérées comme un important déterminant dans les décisions relatives au moment de freiner et de la force à appliquer (Lee, 1976). Un effort a été fait avec les données actuelles pour explorer les changements qui surviennent dans le comportement visuel lors de la réalisation de tâches cognitives exigeantes tout en conduisant et l'occurrence des freinages brutaux.

Les données ont été examinées pour les 16 sujets pour lesquels des données de l'oculomètre et de freinage étaient disponibles. Plus de freinages brutaux ($M=2,75$) ont été observés pour les participants qui regardaient en bas ($n=4$) et pour ceux qui regardaient en haut ($M=1,00$, $n=6$) au cours de la tâche difficile, en comparaison avec ceux qui montraient moins de changement dans le comportement visuel ($M= -0,17$, $n=6$). Des tests non paramétriques (test U de Mann-Whitney) ont révélé que la différence entre le groupe qui regardait vers le bas et le groupe qui montrait peu de changement était significative ($p < 0,03$). Prises en bloc, ces données suggèrent que les conducteurs qui montrent le plus grand changement dans le comportement visuel en raison de la réalisation d'une tâche supplémentaire avaient tendance à freiner plus brusquement plus souvent.

4.3 Cotes des charges de travail et cotes de diminution de la sécurité et de la distraction

La figure 8 présente les effets de la complexité des tâches cognitives sur les cotes de la charge de travail, de la diminution perçue de la sécurité et de la distraction. Les cotes ont été combinées pour six échelles du NASA TLX en utilisant une pondération égale pour produire un score composite. Les numéros les plus élevés des cotes indiquaient des plus hauts niveaux de charge de travail. Les données du NASA TLX indiquaient qu'à mesure que la complexité de la tâche cognitive augmentait, la perception de la charge de travail le faisait. Les cotes moyennes de la charge de travail étaient de 1,94 (ET=0,87) pour des conditions sans tâche, de 3,55 (ET=1,62) pour des conditions de tâches faciles et de 5,73 (ET=1,33) pour des conditions de tâches difficiles ($F_{(2,40)} = 74,15$, $Mse = 1,02$, $p < 0,0001$). Des différences significatives sont apparues dans la charge de travail pour toutes les comparaisons parmi les trois conditions ($ps < 0,01$).

Les cotes de sécurité ont aussi été touchées par la nature de la tâche cognitive. Ici, des cotes plus élevées sur l'échelle de sécurité indiquaient que les conducteurs se sentaient moins en sécurité. À mesure que la complexité de la tâche cognitive augmentait, les conducteurs cotaient leur conduite comme moins sécuritaire. Les cotes moyennes de sécurité étaient de 1,64 (ET=0,67) pour des conditions sans tâche, de 3,40 (ET=2,04) pour des conditions de tâches faciles et de 4,60 (ET=2,40) pour des conditions de tâches difficiles ($F_{(2,40)} = 16,43$, $Mse = 2,82$, $p < 0,0001$). Toutes les comparaisons des moyennes des cotes de sécurité étaient significativement différentes ($ps < 0,01$).

Finalement, les conducteurs ont rapporté une augmentation de la distraction à mesure que la complexité de la tâche cognitive augmentait en parallèle avec les conditions. Des cotes plus élevées indiquent plus de distraction sur cette échelle. Les cotes moyennes de distraction étaient de 1,45 (ET=0,59) pour des conditions sans tâche, de 4,79 (ET=2,12) pour des conditions de tâches faciles et de 6,74 (ET=2,03) pour des conditions de tâches difficiles ($F_{(2,40)} = 67,20$, $Mse = 2,23$, $p < 0,0001$). Toutes les comparaisons par paires des moyennes étaient significativement différentes ($ps < 0,01$).

En somme, l'impact de l'augmentation de la complexité de la tâche était clairement reflétée dans les cotes des conducteurs pour les trois types de mesures : charge de travail, sécurité et distraction.

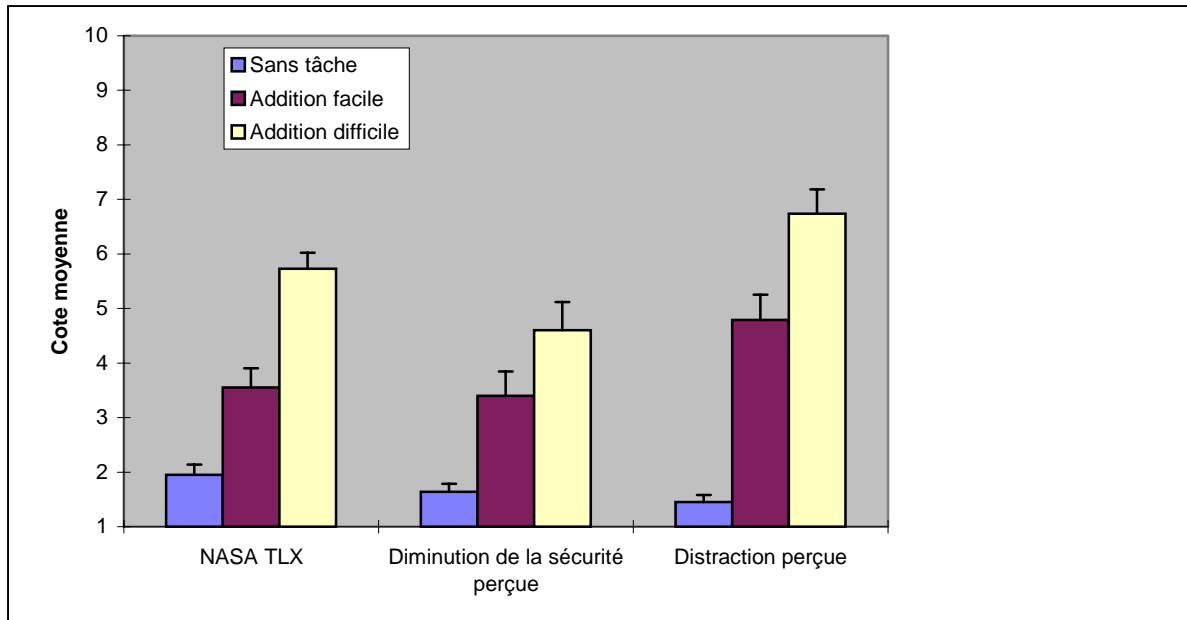


FIGURE 8. LES EFFETS DE LA COMPLEXITÉ DE LA TÂCHE COGNITIVE SUR LES COTES DE CHARGE DE TRAVAIL, (NASA TLX), DE DIMINUTION DE LA SÉCURITÉ ET DE DISTRACTION (+SE)

5. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le but de la présente étude était d'examiner l'impact de la distraction cognitive sur le comportement visuel des conducteurs et sur le contrôle du véhicule. Des études précédentes avaient porté sur l'impact des demandes externes dues à la complexité de l'environnement (par ex., Miura, 1990) et des distractions créées par la manipulation manuelle de dispositifs dans le véhicule (par ex., Hancock *et al.*, 1999). Notre intérêt s'est porté sur le type de distraction créée par la réalisation d'activités cognitives exigeantes, le genre qui peut survenir quand les conducteurs interagissent avec des dispositifs à bord du véhicule au moyen de commande vocale ou qu'ils conversent à l'aide de dispositifs mains libres dans le véhicule. Les problèmes arithmétiques ont été présentés aux conducteurs par le biais d'un téléphone cellulaire et les conducteurs répondaient par téléphone cellulaire, toujours en mode mains libres. Les conducteurs se sont déplacés dans la circulation urbaine en répondant aux questions alors que leurs mouvements des yeux et le contrôle du véhicule étaient enregistrés.

La réalisation d'une tâche cognitive exigeante tout en conduisant produit des changements dans le comportement visuel des conducteurs, dans le contrôle du véhicule (tel qu'indiqué par le comportement de freinage) et dans les évaluations subjectives de la charge de travail, de la sécurité et de la distraction. Le comportement visuel des conducteurs a changé de plusieurs manières importantes. Les conducteurs ont fait moins de saccades par unité de temps, correspondant à une réduction de la fréquence des regards et de l'exploration de l'environnement de conduite (*voir aussi* Recartes et Nunes, 2000). Ils ont passé plus de temps à regarder au centre et moins de temps à regarder à la

périphérie de droite. Ils ont passé moins de temps à vérifier les instruments et les rétroviseurs et, dans certains cas, les conducteurs ont ignoré ces tâches complètement et n'ont pas du tout vérifié ces zones. Avec l'augmentation de la demande cognitive, plusieurs conducteurs ont changé leurs modèles d'inspection du champ de vision vers l'avant. Plus de la moitié des conducteurs ont montré un changement notable dans leurs modèles du champ de vision vers l'avant en comparaison de ceux qui conduisaient sans autre tâche. Ce qui est plus important, on a observé que tous les conducteurs n'avaient pas changé leurs modèles d'inspection visuelle de la même façon. Il existe clairement des différences individuelles dans les types de changements du comportement visuel qui surviennent lors de la réalisation de tâches cognitives tout en conduisant. D'autres études des exigences spécifiques des tâches et une meilleure compréhension des différences individuelles dans les stratégies utilisées pour accomplir de telles tâches seraient utiles pour la compréhension des différences dans la performance.

La relation entre le comportement visuel du conducteur et la sécurité de la conduite en est une d'importance. Wierwille et Tijerina (1998) ont conçu un modèle qui lie le comportement du regard aux taux d'accidents. Leur travail incorpore l'exigence visuelle (durée et nombre de coups d'œil) pour l'utilisation de dispositifs à bord du véhicule où l'attention du conducteur est transférée de la route à l'intérieur du véhicule. Ces informations sont combinées avec la fréquence de l'utilisation de dispositifs à bord du véhicule pour prédire les taux d'accidents.

La présente étude, quant à elle, met l'accent sur la distraction cognitive, qui même si elle n'exige pas que les conducteurs transfèrent leur attention visuelle à l'intérieur du véhicule, est tout aussi perturbatrice. Dans la mesure où un dispositif qui est distrayant est utilisé plus souvent en conduisant ou qu'une activité qui est distrayante est pratiquée plus souvent en conduisant, une augmentation simultanée du risque serait anticipé. En fait, Goodman *et al.* (1999) ont invoqué l'argument que la sécurité perçue liée à l'utilisation d'un téléphone mains libres par rapport à un téléphone portatif peut entraîner une augmentation globale de l'usage du téléphone cellulaire en conduisant. Le passage du téléphone portatif au téléphone mains libres pourrait faire augmenter l'usage de téléphones cellulaires (nombre d'appels, durée des appels) en conduisant pour ces conducteurs qui utilisent déjà le téléphone cellulaire en raison de l'augmentation apparente de la sécurité. Cette amélioration perçue dans la sécurité peut aussi convaincre des non-utilisateurs de se servir de téléphones cellulaires en conduisant. L'augmentation de l'usage parmi les automobilistes pourrait conduire à une augmentation des risques d'accidents.

Des changements significatifs ont été observés dans le contrôle du véhicule des conducteurs en raison de l'accomplissement de tâches cognitives supplémentaires tout en conduisant. Il y a eu une incidence accrue de freinage brutal quand les conducteurs effectuaient une tâche difficile. De même, lorsque le comportement visuel des conductions était mis en relation avec leur comportement de freinage, on a trouvé que les conducteurs qui démontraient des changements notables dans leur comportement visuel avaient plus d'épisodes de freinage brutal. Ces résultats sont conformes avec les travaux effectués par Hancock *et al.* (1999) qui ont rapporté que des conducteurs, distraits par une

tâche manuelle dans un véhicule en conduisant sur une piste d'essai, freinaient de manière plus intense pour compenser pour la détection tardive des événements qui survenaient dans l'environnement. Dans la présente étude, toutefois, les conducteurs n'étaient pas distraits par le besoin de faire une réponse manuelle, la distraction était plutôt générée par la tâche cognitive qu'ils effectuaient.

Finalement, les conducteurs ont rapporté qu'ils étaient conscients des demandes accrues placées sur eux lorsqu'ils effectuaient les tâches additionnelles tout en conduisant. Ceci s'est reflété dans l'augmentation de leurs cotes de charge de travail et de distraction et une diminution de leurs cotes de sécurité de la conduite

Les résultats de cette étude sont conformes à l'explication selon laquelle la tâche cognitive distrayante entre en rivalité pour les ressources relatives à l'attention. Dans la mesure où l'attention est dirigée vers le traitement d'informations distrayantes (la tâche additionnelle), les ressources disponibles pour traiter les informations relatives à la conduite sont réduites et des diminutions de la performance sont observées. Pris dans leur ensemble, les résultats de la présente étude indiquent que l'accomplissement de tâches cognitives exigeantes tout en conduisant a un impact négatif sur le comportement du conducteur et sur le contrôle du véhicule. Les résultats sont conformes à l'explication selon laquelle ces demandes supplémentaires placées sur le conducteur contribuent à une détection tardive, à une conscience réduite de la situation (Matthews, Bryant, Webb et Harbluk, 2001) et à une marge réduite de sécurité.

Les résultats de la présente recherche contribuent à la documentation croissante à l'appui de l'impact de la distraction cognitive sur le comportement du conducteur. Ce qui est peut-être le plus surprenant au sujet des résultats de la présente étude est que ces changements surviennent dans un contexte de conduite réel avec ses fortes exigences pour que les conducteurs portent attention à la conduite. D'autres travaux récents sur route ont révélé que la distraction engendrée par une tâche cognitive était liée à une détection tardive de la décélération de la voiture qui précède (Lamble, Kauranen, Laakso et Summala, 1999). Dans une autre étude, le fait d'écouter et de répondre à des messages a été lié à une prise de décisions plus risquées, les conducteurs distraits acceptaient des espaces plus courts en tournant à gauche (Cooper, Zheng, Richard, Vavrik, Heinrichs et Siegmund, 2002). Ces études empiriques fournissent des données à l'appui des études épidémiologiques indiquant un accroissement des risques d'accidents routiers pour les utilisateurs de téléphones cellulaires (Laberge-Nadeau, Maag, Bellavance, Desjardins, Messier et Saïdi, 2001; Redelmeier et Tibshirani, 1997).

La distraction du conducteur due à l'utilisation de technologies interactives de bord représente une menace potentielle sérieuse pour la sécurité. Quand l'attention d'un conducteur est détournée de la route et de l'environnement avoisinant, le résultat peut être une réaction tardive à un risque, ou éventuellement, une omission de le détecter. Même si les technologies vocales permettent aux conducteurs d'interagir avec des dispositifs intelligents, comme le téléphone cellulaire, la nature de l'interaction en cours peut encore être la source d'une distraction considérable. Au cours d'une simple conversation, les conducteurs peuvent s'adapter en prenant une pause ou en arrêtant l'appel si les

exigences de conduite augmentent. Les affaires se font souvent par téléphone cellulaire (McKnight et McKnight, 1991), cependant, une conversation d'affaires intense peut détourner l'attention des conducteurs de la tâche de conduite. Un interface peut être mains libres, mais la conversation même peut être une source de distraction considérable dans certaines conditions.

L'arrivée en masse des téléphones cellulaires sur le marché canadien au cours des dernières années rend leurs conséquences négatives potentielles sur la sécurité routière une question urgente en matière de politiques gouvernementales. Les preuves s'accumulent selon lesquelles leur utilisation en conduisant présente des risques considérables (par ex., Pachiaudi, 2001). Alors que l'usage de téléphones cellulaires en conduisant est de la responsabilité des provinces, la conception et l'installation de l'équipement d'origine dans le véhicule peut être réglementé grâce à des instruments tels les Normes de sécurité des véhicules automobiles du Canada (NSVAC). Une intervention réglementaire au niveau de l'équipement d'origine exigera des recherches continues et une consultation du public afin d'établir qu'une telle intervention est justifiée et de déterminer la nature des exigences réglementaires. Bien que certaines provinces envisagent l'adoption d'une législation en vue d'interdire l'usage de téléphones cellulaires (notamment les dispositifs portatifs) en conduisant, aucune administration n'a encore adopté une telle législation.

Une enquête téléphonique auprès des ménages, commandée par Transports Canada en 1997, a révélé que 26 p. 100 des conducteurs ont indiqué utiliser leur téléphones cellulaires en conduisant (Kiar, 1998). Parmi ceux-ci, la majorité (78 p. 100) se servaient de téléphones portatifs. Quatre-vingt pour cent des répondants ont indiqué qu'ils estimaient que l'usage du téléphone cellulaire posait un risque pour la sécurité. Les résultats de la présente étude, conformes aux résultats des recherches épidémiologiques et expérimentales, soulignent la nécessité d'informer le public au sujet des risques accrus liés à l'usage de téléphones cellulaires en conduisant.

Il est recommandé qu'un dépliant soit préparé pour informer le public des risques sérieux liés à l'usage du téléphone cellulaire en conduisant, pour aviser le public que le gouvernement fédéral recommande que les conducteurs ne se servent pas du téléphone cellulaire en conduisant, pour informer le public que les téléphones mains libres ne sont pas sans risques et pour offrir des mesures de précaution importantes à l'intention des conducteurs qui entendent continuer d'utiliser leur téléphones en conduisant. Il est également recommandé de poursuivre la recherche pour déterminer le besoin de réglementer l'équipement d'origine.

On devrait accroître la sensibilisation du public au sujet des conséquences du point de vue de la sécurité de l'usage des dispositifs intelligents afin d'encourager de meilleures habitudes de conduite. Si les gens sont pour continuer d'utiliser ces dispositifs, ils devraient être conçus pour réduire la somme d'inattention et de distraction qu'ils engendrent. La recherche en vue d'améliorer notre compréhension des effets de la distraction cognitive sur le comportement du conducteur devrait s'avérer un instrument utile. De telles connaissances contribueront à l'amélioration de la conception de

systemes d'information et de communication à bord des véhicules et à appuyer l'élaboration d'une politique gouvernementale dans ce domaine.

6. RÉFÉRENCES

Baddeley, A.D. (1981). The concept of working memory: A review of its current state and probable future development. *Cognition*, 10, 17-23.

Barickman, F.S., et Goodman, M.J. (1999). MicroDAS: An in-vehicle portable data acquisition system. *Transportation Research Record*, 1689, 1-8.

Boase, M., Hannigan, S., et Porter, J.M. (1988). 'Sorry, can't talk...just overtaking a lorry'. In E.D. Megaw (Ed.), *Contemporary Ergonomics* (pp. 527-532). U.K.: Taylor et Francis.

Chapman, P.R., et Underwood, G. (1999) Looking for danger: Drivers' eye movements in hazardous situations. In A.G. Gale et al. (Eds.) *Vision In Vehicles VII*. (pp.225-232). Amsterdam: Elsevier.

Cooper, P.J., Zheng, Y., Richard, C., Vavrik, J., Heinrichs, B., et Siegmund, G. (2002). The impact of hands-free message reception/response on driving task performance. In press: *Accident Analysis and Prevention*.

Easterbrook, J.A. (1959). The effect of emotion on the utilization and organization of behavior. *Psychological Review*, 66, 183-201.

Eizenman, M., Jares, T., et Smiley, A. (1999). A new methodology for the analysis of eye-movements and visual scanning in drivers. *Transport Canada Contract Report*. March 1999.

Geary, D.C., et Wiley, J.G. (1991). Cognitive addition: Strategy choice and speed-of-processing differences in young and elderly adults. *Psychology and Aging*, 6, 474-483.

Goodman, M.J., Tijerina, L., Bents, F.D., et Wierwille, W.W. (1999). Using cellular phones in vehicle: Safe or unsafe? *Transportation Human Factors*, 1(1), 3-42.

Hancock, P.A., Simmons, L., Hasemi, L., Howarth, H., et Ranney, T. (1999). The effects of in-vehicle distraction on driver response during a crucial driving maneuver. *Transportation Human Factors*, 1(4), 295-309.

Harbluk, J.L., Noy, Y. I., et Eizenman, M. (2000). The impact of internal distraction on driver visual behavior. *Internet Forum on Driver Distraction*. Hosted by US DOT NHTSA. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/1.PDF>

Hart, S.G., et Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of experimental and theoretical research. In P.A. Hancock et N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload* (pp. 139-183). Amsterdam: North Holland.

Irwin, M., Fitzgerald, C., et Berg, W.P. (2000). Effect of the intensity of wireless telephone conversations on reaction time in a braking response. *Perceptual & Motor Skills*, 90, 1130-1134.

Janelle, C.M., Singer, R.N., et Williams, A.M. (1999). External distraction and attentional narrowing: Visual search evidence. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 21, 70-91.

Kiar, S. (1998). *Public Perceptions of Road Safety in Canada*. COMPAS Inc. Ottawa, Ontario. Transport Canada Contract Report TP 13240 (E), May 1998.

Kinsbourne, M. (1974). Direction of gaze and distribution of cerebral thought processes. *Neuropsychologia*, 12, 279-281.

Laberge-Nadeau, C., Maag, U., Bellavance, F., Desjardins, D., Messier, S., et Saïdi, A. (2001). *Les téléphones mobiles/cellulaires et le risque d'accidents*. Centre de recherche sur les transports (C.R.T.). Université de Montréal.

Lamble D., Kauranen, T., Laakso, M., et Summala, H. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: Safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 617-623.

Lee, D.N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time to collision. *Perception*, 5, 437-459.

Lee, J.D., Caven, B., Haake, S., et Brown, T.L. (2000). *Speech-based Interaction with In-vehicle Computers: The Effect of Speech-based E-mail on drivers' Attention to the Roadway*. Internet Forum on Driver Distraction. Hosted by US DOT NHTSA. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/27.PDF>

Matthews, M.L., Bryant, D.J., Webb, R.D.G., et Harbluk, J.L. (2001). A Model for Situation Awareness and Driving: Application to Analysis and Research for Intelligent Transportation Systems. *Transportation Research Record*, 1779, 26-32.

McKnight, J. et McKnight, A.S. (1991). *The effect of cellular phone use upon driver attention*. National Public Services Research Institute.

Miura, T. (1990). Active function and useful field of view in a realistic setting In R. Groner, G. d'Ydewalle, et R. Parham, (Eds.) *From eye to mind*. Information acquisition in perception, search, and reading (pp.119-127). Amsterdam: North-Holland.

Mortimer, R.G., Segel, L., Dugoff, H., Campbell, J.D., Jorgeson, C.M., et Murphy, R. W.(1970). Brake force requirement study: Driver-vehicle braking performance as a function of brake system design variables. HSRI Report HuF-6, University of Michigan, NTIS Report: PB-193-258.

Mourant , R.R., et Rockwell, T.H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14, 325-335.

Newcomb, T. P. (1981). Driver Behaviour During Braking. SAE Technical Paper Series, 810832.

Pachiaudi, G. (2001). Les risques de l'utilisation du téléphone mobile en conduisant. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).

Parkes, A. et Hooijmeijer, V. (2000). The influence of the use of mobile phones on driver situation awareness. Internet Forum on Driver Distraction. Hosted by US DOT NHTSA. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/2.PDF>

Recartes, M.A., et Nunes, L.M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6 (1), 31-43.

Redelmeier, D.A. et Tibshirani, R. J.(1997). Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *The New England Journal of Medicine*, 336, 453-458.

Treat, J.R., Tumbas, N.S., McDonald, S.T., Shinar, D., Hume, R.D., Mayer, R.E., Stansifer, R. L., et Castellan, N.J. (1979). Tri-Level study on the causes of traffic accidents: Final Report, Volumes I and II. U.S. DOT HS-805-086, (NTIS PB 80-121064).

Wang, J.-S., Knipling, R.R., et Goodman, M.J. (1996). The role of driver inattention in crashes: New statistics from the 1995 Crashworthiness Data System. 40th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine, 377-392 .

Wetzel, P.A., Poprik, C., et Bascom, P. (1996). An Eye Tracking System for Analysis Pilot's Scan Paths, 18th Annual Interservice/Industry training systems, Florida, 534-539.

Wierwille, W.W., et Tijerina, L. (1998). Modelling the relationship between driver in-vehicle visual demands and accident occurrence. In A.G. Gale et al. (Eds.) *Vision and Vehicles VI*. (pp. 233-243). Amsterdam: Elsevier.

Zaidel, D.M., Paarlberg, W.T., et Shinar, D., (1978). Driver performance and individual differences in attention and information processing, Volume 1: Driver Inattention. Institute for Research in Public Safety, DOT-HS-803 793.

7. NOTES DE L'AUTEUR

Nous désirons remercier Jennifer Ferguson pour son aide avec le dispositif expérimental, Marty Lochner pour l'administration de tests aux sujets ainsi que Patricia Trbovich et Lisa Massel pour leur aide dans l'analyse des données.

© Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux Canada, représenté par le ministre des Transports, 2002.

Cette publication peut être reproduite sans permission à condition qu'elle soit utilisée uniquement pour des études privées, de la recherche, de la critique, de l'analyse ou pour faire l'objet d'un sommaire dans un journal et que la source soit parfaitement identifiée.