

[Page de garde]

HEC MONTRÉAL

**Effet de l'utilisation d'une montre intelligente et d'un assistant vocal
sur l'attention en contexte de simulation automobile**

par

Mathieu Brodeur

Sciences de la gestion

(Option Expérience Utilisateur dans un Contexte d'Affaires)

Sous la direction de

Pierre-Majorique Léger, PhD. et Sylvain Sénécal, PhD.

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences en gestion
(M. Sc.)*

[Mois du dépôt final] 2020

© Mathieu Brodeur, 2020

Résumé

Conduire un véhicule automobile est une tâche difficile où un instant d'inattention peut mener à des conséquences graves. Certains objets à l'intérieur d'un véhicule peuvent distraire le conducteur et lui faire perdre sa concentration. Ces objets permettent à leurs utilisateurs d'interagir avec le monde extérieur en envoyant et en recevant des messages. Ces messages peuvent distraire le conducteur en divisant son attention entre la tâche en cours d'exécution et l'appareil sur lequel une notification apparaît. Dans un contexte de conduite automobile, l'interaction avec ces appareils mène à une distraction empêchant un automobiliste de se concentrer pleinement sur la tâche de conduite.

Ce mémoire étudie le comportement d'automobilistes à l'intérieur d'un simulateur de conduite à la réception de trois types de notifications : sur un téléphone intelligent, sur une montre intelligente et sur un haut-parleur simulant un assistant vocal. Ce mémoire étudie également l'envoi de messages par saisie de texte vocale et par saisie de texte manuelle. Une expérience en laboratoire basée sur la littérature existante fut menée auprès de 31 sujets. Des mesures implicites (psychophysiologiques) et comportementales ont permis d'évaluer l'expérience des participants face aux différents types de réception et d'envois de notifications. Les résultats de l'expérience démontrent que les participants sont moins concentrés sur la tâche de conduite lorsqu'ils reçoivent des notifications sur une montre intelligente que lorsqu'ils en reçoivent sur un téléphone mobile. Ils sont plus concentrés sur la route lorsqu'ils reçoivent une notification sur un haut-parleur que dans les deux situations mentionnées précédemment et ils sont plus distraits lorsqu'ils doivent répondre aux notifications par saisie de texte manuelle que par saisie de texte vocale.

Cette étude contribue à enrichir la littérature présente concernant la montre intelligente et les assistants vocaux au volant d'un véhicule automobile. Elle nous éclaire par rapport au potentiel de distraction de la montre intelligente en plus de donner une solution moins distrayante pour recevoir et envoyer des notifications en conduisant un véhicule. Comme les lois québécoises concernant la distraction au volant d'un véhicule automobile ne mentionnent pas la montre intelligente, cette

étude permet de donner plus d'informations aux législateurs quant à l'utilisation de la montre en contexte automobile. Elle donne également à l'industrie une meilleure compréhension des effets plus néfastes de la montre intelligente, permettant à celle-ci d'agir pour mieux informer la population de ces dangers.

Mots clés : Conduite automobile, Téléphone mobile, Montre intelligente, Assistants vocaux, Distraction, Attention divisée, Sécurité routière, Prévention d'accidents

Table des matières

Résumé.....	vii
Liste des tableaux et des figures.....	xiii
Liste des abréviations	xv
Avant-propos	xvii
Remerciements.....	xix
Introduction.....	21
Mise en contexte	21
Objectifs de l'étude	23
Questions de recherche	24
Informations sur la revue de littérature et sur l'article	25
<i>Résumé de l'article</i>	26
Contributions et responsabilités personnelles	26
Chapitre 1 : Revue de littérature	32
1- Attention et attention divisée	33
2- Multitâche	36
3- La conduite automobile	38
4- La conduite automobile avec distraction	40
5- Les objets connectés	42
6- La montre intelligente, les assistants vocaux et la distraction au volant	43
Références	47
Chapitre 2 : Article scientifique	55
Abstract	55
1. INTRODUCTION	56
2. LITERATURE REVIEW	57
3. METHOD	62
3.1 Experimental Design	62
3.2 Sample and Procedure	62
3.3 Experimental Setup and Apparatus	64
3.4 Operationalization of research variables	65
4. RESULTS AND ANALYSIS	69

4.1 Gaze distribution (H1)	69
4.2 Driving behavior results (H2)	71
4.3- Cognitive workload(H3)	73
5. DISCUSSION AND CONCLUSION	74
REFERENCES	77
Conclusion.....	84
Rappel des questions de recherche et des hypothèses	85
Principaux résultats	87
Contributions de l'étude	87
<i>Contributions théoriques.....</i>	<i>88</i>
<i>Implications pratiques.....</i>	<i>88</i>
Limites et pistes de recherches futures	89
Bibliographie.....	91

Liste des tableaux et des figures

Liste des tableaux

Table 1 - Gaze distribution variables and their acronyms	67
Table 2 - Gaze distribution results and pairwise comparisons.....	70
Table 3 - Road violations results and pairwise comparisons	71
Table 4 - Telemetry data results and pairwise comparisons.....	72
Table 5 - Eye tracking / Pupillometry results and pairwise comparisons	73

Liste des figures

Figure 1 - Experimental setup	64
-------------------------------------	----

Liste des abréviations

AGD : Average Glance Duration per Notification

AV : Auditory-vocal method

LSG : Longest Single Glance

NGN : Number of Glances per Notification

NHTSA : National Highway Traffic Safety Administration

SAAQ : Société de l'assurance automobile du Québec

TGD : Total Glance Duration per Notification

TOR : Percentage of Time Off Road

TTET : Total Task Engagement Time

VM : Visual-manual method

Avant-propos

Ce mémoire par article a été rédigé avec l'approbation du programme de M. Sc. en gestion de HEC Montréal. Tous les co-auteurs ont donné leur consentement pour que l'article scientifique soit inséré dans ce mémoire. Ce mémoire est composé d'une revue de littérature et d'un article scientifique.

Le certificat d'approbation éthique du Comité éthique de la recherche (CER) de HEC Montréal pour cette étude a été reçu le 26 juin 2019

L'article scientifique présenté au chapitre 2 de ce mémoire sera soumis au journal *Accident Analysis and Prevention*

Remerciements

Je tiens à remercier premièrement mes directeurs de mémoire, Pierre-Majorique Léger et Sylvain Sénécal, pour m'avoir attribué ce projet et de m'avoir guidé à travers les différentes épreuves qu'ont constituées l'écriture de ce mémoire.

Je tiens également à remercier spécialement Perrine Ruer pour son aide et son soutien sans lequel le projet sur lequel est basé ce mémoire ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui.

Évidemment, ce projet n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien de l'équipe incroyable du Tech3Lab dont David, Emma, Bertrand, Frédérique, Shang-Lin, Carl, Salima, Julianne et Élise. Votre assistance à travers toutes les phases de ce projet a été cruciale à la réussite de ce projet, et ce faisant, à la réalisation de ce mémoire.

Merci à mes collègues de m'avoir aidé à trouver mes repères dans un nouvel environnement parfois stressant et intimidant : Félix, Éric, Youness, Alexander et tous les autres.

Je tiens aussi à remercier mes amis d'avoir été présents lorsque j'avais besoin d'aide dans le cadre de ce projet : Simon, Thomas, Pierre-Yves, Benjamin, Marc-Antoine, Jade, Gabriel et tous les autres.

Merci à Sylvain et à Christiane pour votre support inconditionnel depuis le début de mon parcours académique. Je n'y serai jamais parvenu sans vous et je vous remercie sincèrement d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir toujours encouragé.

Finalement, un merci tout spécial à Marie-Michelle, présente pour moi dans les moments heureux comme dans les moments difficiles.

Introduction

Mise en contexte

Si nos ordinateurs et nos téléphones mobiles deviennent de plus en plus puissants, d'autres objets qui ne sont habituellement pas associés à la sphère technologique semblent être influencés par cette évolution. Aujourd'hui, même nos réfrigérateurs (Bonneau, 2012) et nos toilettes (Radio-Canada, 2020) peuvent se vanter d'être « intelligents » et « connectés » en nous faisant découvrir des fonctions qui auraient été difficiles à imaginer il y a de cela quelques années.

Les objets connectés sont définis par trois composants : ce sont des objets physiques, intelligents et connectés (Chouk & Mani, 2016). Par exemple, un téléphone mobile moderne est un objet physique qu'on peut manipuler. C'est également un objet intelligent puisqu'il peut capter et emmagasiner plusieurs types de données pour toutes sortes d'utilisation. Finalement, le téléphone intelligent est connecté puisqu'on peut transférer les données emmagasinées dans l'objet, par exemple à l'aide d'un câble ou d'une connexion Internet. En 2019, une étude indiquait qu'il y avait 22 milliards d'objets connectés dans le monde (Strategy Analytics Research Services, 2019). La même étude prévoit qu'il y aura 38,6 milliards d'appareils connectés d'ici 2025 et 50 milliards d'ici 2030.

Certains objets connectés sont même portés par les personnes qui les utilisent. Les objets faisant partie de l'*informatique vestimentaire*, habituellement identifiés par leur terme anglais *wearables*, ont profité d'une popularité croissante impressionnante, à l'image des objets connectés. Au Canada en 2019, 8,1% de la population portait des objets connectés (Statista, 2019). Les vêtements comme les chandails, les gants ou les maillots de bain connectés, les accessoires comme les lunettes « Google Glass » et les montres intelligentes font partie de la grande famille des *wearables*.

La montre intelligente est l'un des *wearable* les plus connus et les plus populaires sur le marché (Wurmser, 2019). En plus de montrer l'heure comme le ferait une montre normale, la montre intelligente moderne permet à son utilisateur de garder

un œil sur son rythme cardiaque, de l'alerter lorsque le niveau de décibel devient trop haut, de recevoir et de passer des appels téléphoniques et même d'aller sur Internet pour télécharger des chansons ou recevoir des messages (Apple, 2020). Une montre intelligente peut avoir à peu près toutes les fonctionnalités d'un téléphone mobile moderne avec l'avantage supplémentaire d'être porté au poignet. Cependant, si la montre intelligente partage beaucoup des avantages du téléphone mobile, est-ce qu'elle partage aussi ses inconvénients?

Le téléphone mobile, avec toutes ces fonctionnalités rendant nos vies plus simples, peut devenir une dangereuse distraction dans certaines situations (Courtemanche et. al, 2019). Par exemple, une étude a déterminé que les piétons qui marchaient tout en utilisant leur téléphone cellulaire dans un environnement semi-virtuel prenaient plus de temps à détecter les événements qui avaient lieu sur la route que sans la distraction d'un téléphone (Lin, Huang, 2017). Dans un contexte de conduite automobile, l'utilisation du téléphone pour converser oralement influence négativement le conducteur en détournant son attention complète de la tâche de conduite (Strayer & Drews, 2007). Le temps de réaction du conducteur automobile est plus lent lorsqu'il a une conversation téléphonique que s'il n'en a pas (Caird et. al, 2008), ce qui augmente le risque d'accidents automobiles. Utiliser un téléphone mobile pour texter au volant offre également son lot de problèmes, avec des conducteurs qui sont impliqués dans un plus grand nombre d'accidents que ceux qui conduisent normalement (Caird et. al, 2014).

L'assistant vocal (ou assistant virtuel) est un autre objet connecté qui est accessible à un grand nombre de consommateurs. En effet, si les haut-parleurs intelligents comme Alexa ou Google Home semblent être populaires, se sont les assistants vocaux intégrés aux téléphones intelligents comme Siri ou Google Assistant qui sont les plus populaires sur le marché aujourd'hui (Olson & Kemery, 2019). En effet, 72% des participants interrogés dans une étude de Microsoft prétendent avoir interagi avec un assistant vocal à travers un assistant digital comme Siri et Google Assistant (Olsen & Kemery, 2019).

L'assistant vocal est un autre objet connecté avec lequel un humain peut interagir à l'intérieur d'une voiture. Par exemple, Apple CarPlay est une application mobile permettant aux utilisateurs de naviguer sur la route à l'aide d'un GPS, d'écouter de

la musique, de passer des appels et même d'envoyer et de recevoir des messages (Apple, 2020). L'application, connectée à l'assistant vocal à l'intérieur du téléphone, permet entre autres d'activer des commandes à voix haute et de faire de la saisie de texte vocale. Cette technologie change ainsi la façon d'interagir avec la technologie à l'intérieur d'un véhicule. En 2019, environ 31% des répondants à un sondage sur les assistants vocaux prétendaient utiliser des commandes vocales à l'intérieur de leur véhicule (Olson & Kemery, 2019).

Objectifs de l'étude

La distraction que cause le téléphone mobile en contexte de conduite automobile est assez importante pour être considérée comme étant illégale (SAAQ, 2020). Cela étant dit, les lois entourant l'utilisation au volant de la montre intelligente, une technologie plus récente, ne sont pas très précises au Québec. La loi stipule qu'un conducteur ne peut pas utiliser de cellulaire ou d'appareils électroniques portatifs sauf en mode mains libres sous condition que l'information soit en lien avec la tâche de conduite (SAAQ, 2020). Est-ce qu'un automobiliste peut utiliser sa montre intelligente pour regarder autre chose que de l'information en lien avec la tâche de conduite? Est-ce que la montre n'est illégale que lorsque le conducteur interagit avec? Est-ce qu'un automobiliste peut être reconnu coupable de conduire avec distraction simplement parce qu'il porte une montre intelligente?

La loi mentionne également que les écrans permis sont intégrés au véhicule ou installés sur un support fixe (SAAQ, 2020). Faut-il enlever la montre intelligente avant de commencer à conduire au cas où une notification amènerait le conducteur à interagir avec? Il semble que les lois sur la distraction au volant ont été élaborées en pensant aux cellulaires, aux tablettes et aux ordinateurs portables. Il n'y a cependant aucune mention de la montre intelligente dans les informations données au public, ce qui veut dire que, même si on peut croire qu'il n'est pas permis d'interagir avec une montre intelligente au volant, cela ne veut pas dire qu'un conducteur est dans l'obligation de l'enlever avant de commencer à conduire. Dans une situation où un conducteur n'enlève pas sa montre et qu'elle vibre ou sonne à la réception d'une notification, il sera tenté de regarder sur son dispositif. À partir du moment où il décide de lire le message de notification, à quel point est-il distrait?

L'objectif principal de ce mémoire est donc de comparer la distraction que génère la montre intelligente au volant d'un véhicule automobile avec la distraction que génère le téléphone mobile dans le même contexte. Ce ne sont cependant pas les deux seules façons de recevoir des notifications à l'intérieur d'un véhicule. Tel que mentionné plus haut, un assistant vocal peut être utilisé pour envoyer et recevoir des messages à l'intérieur d'un véhicule. Cette façon de faire permet en théorie au conducteur de recevoir des notifications et d'entendre les messages qui lui sont destinés sans quitter la route des yeux. Est-ce que cette méthode est vraiment moins distrayante que la lecture de messages sur un appareil?

Le dernier objectif de ce mémoire est de comparer la réponse des participants aux notifications. On peut aujourd'hui, grâce à la technologie, écrire des messages en saisissant le texte de manière vocale ou de manière manuelle. Certains conducteurs vont utiliser la saisie de texte manuelle, plus souvent nommée *texto*, au volant. Écrire un *texto* au volant est une pratique dont les dangers sont bien connus (Caird et. al, 2014). Malgré tout, est-ce que *texter* au volant est une habitude plus distrayante que d'envoyer un message par saisie de texte vocale? À quel point est-ce plus ou moins distrayant que de répondre à une notification à voix haute après l'avoir reçu sur un téléphone mobile ou une montre intelligente?

Questions de recherche

Ce mémoire tente de découvrir l'effet des quatre manières d'interagir avec des notifications au volant qui ont été mentionnées plus haut (téléphone mobile, montre intelligente, assistant vocal et *textos*) sur l'attention et la distraction d'un automobiliste. Pour ce faire, trois questions de recherche ont été élaborées:

Q1 : Est-ce que la réception de messages par écrit sur le téléphone mobile engendre plus de distraction auprès d'un utilisateur au volant d'un véhicule automobile que la réception de messages par écrit sur la montre intelligente ?

Q2 : Est-ce que la réception de messages par écrit sur un appareil électronique engendre plus de distraction auprès d'un utilisateur au volant d'un véhicule automobile que la réception de messages par assistant vocal ?

Q3 : Est-ce que l'envoi de messages par texto engendre plus de distraction auprès d'un utilisateur au volant d'un véhicule automobile que l'envoi de message par saisie de texte vocale?

Une petite précision doit être ajoutée à la troisième question de recherche : puisque la montre intelligente est un dispositif trop petit, il n'est presque pas possible de procéder à une saisie de texte manuelle. C'est pourquoi l'envoi de messages par la montre intelligente ne peut être testé que par saisie de texte vocale. Ainsi, la saisie de texte manuelle ne peut être testée que par téléphone mobile.

Afin de répondre à ces questions de recherche, le parcours oculaire des participants, ou plus précisément les moments où l'attention oculaire des participants n'était plus sur la route furent étudiés à l'aide de plusieurs mesures. Puis, l'impact des différentes conditions sur la conduite automobile des participants fut évalué à travers plusieurs mesures. Finalement, la charge mentale des participants fut mesurée à travers les différentes conditions grâce à des mesures de pupillométrie et d'oculométrie.

Les réponses aux questions de recherche contribueront tout d'abord à éclairer les zones grises dans les règlements sur la sécurité routière par rapport à la montre intelligente. La loi sur l'utilisation de la montre intelligente au volant doit devenir plus claire pour éviter une situation où une figure d'autorité ne sait pas si une infraction a été commise ou non. Aussi, nous espérons pouvoir découvrir comment envoyer et recevoir des messages de la manière la plus sécuritaire possible.

Informations sur la revue de littérature et sur l'article

La collecte de données sur lequel est basé ce mémoire s'est déroulée du 2 au 22 juillet 2019. 31 participants se sont présentés au Tech3Lab pour participer à une expérimentation d'une durée d'environ 1h30. L'article scientifique présenté dans ce mémoire est précédé tout d'abord d'une revue de littérature couvrant les thèmes de l'attention, de l'attention divisée, du multitâche, de la conduite automobile, de la conduite automobile avec distraction, des objets connectés et de la montre intelligente en contexte de conduite automobile. De nombreuses études ont été effectuées dans la littérature sur ces différents thèmes qui seront passés en revue de manière approfondie dans le premier chapitre de ce mémoire.

Résumé de l'article

L'article scientifique de ce mémoire est présentement en préparation pour soumission à la revue *Accident Analysis and Prevention*. L'article examine la distraction causée par la montre intelligente au volant en comparaison avec la distraction causée par le téléphone mobile en contexte de simulation de conduite. L'article étudie également la différence entre la réception de messages vocaux et la réception de messages écrits, en plus d'examiner la différence entre la réponse vocale et la réponse par message texte.

Une expérience intrasujet fut menée avec quatre conditions expérimentales: les participants recevaient des notifications (1) sur un téléphone mobile (2) sur une montre intelligente et (3) sur un haut-parleur. Les participants devaient répondre à ces messages à voix haute. Les participants recevaient également des messages (4) sur une condition « texto » où ils devaient répondre par messages texte. Les résultats du parcours oculaire du participant démontrent qu'ils étaient plus distraits dans la condition avec la montre intelligente que celle avec le téléphone mobile. Les participants étaient moins distraits dans la condition avec le haut-parleur que les deux dernières, alors que la condition où ils devaient envoyer un message texte en réponse était la plus distrayante de toutes. Le comportement de conduite des participants n'était pas différent entre les conditions, sauf pour la condition « texto » où leurs performances étaient affectées négativement.

Contributions et responsabilités personnelles

L'article scientifique de ce mémoire a été réalisé en collaboration étroite avec l'équipe du Tech3Lab de HEC Montréal. L'équipe du laboratoire a contribué au projet à travers plusieurs étapes du processus de recherche. Le tableau ci-dessous explique ma contribution et celle des membres du laboratoire en pourcentage par étape.

Étape du processus	Contribution
---------------------------	---------------------

<p>Définition des questions de recherche</p>	<p>Développement des questions de recherche – 70%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les questions de recherche ont été formulées avec l'aide de mes co-directeurs : Pierre-Majorique Léger et Sylvain Sénécal.
<p>Revue de littérature</p>	<p>Recherche et lecture d'articles scientifiques liés à la recherche – 100 %</p> <p>Rédaction de la revue de littérature – 100%</p>
<p>Conception du design expérimental</p>	<p>Rédaction de la demande au CER – 90%</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'équipe du Tech3Lab a révisé le document pour s'assurer que la demande soit complétée adéquatement. <p>Conception du protocole de l'expérience – 100%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le protocole a également été révisé par l'équipe du Tech3Lab avant le début de la collecte de données. <p>Installer la salle de collecte – 80%</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'installation de certains outils de collecte dans la salle de collecte a été faite par l'équipe du Tech3Lab <p>Exécution de prétests – 90 %</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les assistant(e)s de recherche ont aidé à l'exécution de prétests avant l'expérience

Recrutement des participants	<p>Détermination des conditions de recrutement des participants – 100%</p> <p>Recrutement de participants – 60%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les participants ont été recrutés grâce au panel du HEC <p>Gérer et donner les compensations aux participants – 100%</p>
Collecte de données	<p>Exécution de la collecte de données – 75%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les assistant(e)s de recherche du Tech3Lab posaient les instruments de mesure sur les participants • Ils s'assuraient également du bon fonctionnement de certains instruments de collecte • Les assistant(e)s de recherche m'aidaient également à superviser le participant pendant la durée de la collecte de données.

<p>Extraction et transformation des données</p>	<p>Extraction des données physiologiques – 100%</p> <p>Extraction des données liées au comportement de conduite – 95%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les données concernant le comportement de conduite étaient à l'intérieur même du simulateur de conduite. • Une aide de l'équipe du Tech3Lab fut nécessaire pour la confection d'un code Python prenant une capture d'écran de la vitesse des participants plusieurs fois par seconde. • Extraction des données d'étude du regard des participants – 100% <p>Transformation des données – 100%</p>
<p>Analyse des données</p>	<p>Analyse des données oculométriques, de l'étude du regard des participants et du comportement de conduite – 70%</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les comparaisons entre les conditions pour toutes les mesures effectuées lors de l'expérience ont été faites avec l'aide du statisticien du Tech3Lab • Les statistiques descriptives ont aussi été extraites des logiciels statistiques avec l'aide du statisticien du Tech3Lab. <p>Interprétation des résultats – 70%</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'interprétation statistique des résultats a été faite de concert avec le statisticien du Tech3Lab.

Rédaction	Rédaction de l'article scientifique – 100% <ul style="list-style-type: none">• L'article scientifique a été amélioré grâce à plusieurs commentaires de mes co-directeurs.
-----------	---

Chapitre 1 : Revue de littérature

La revue de littérature ci-dessous a pour but de résumer l'état de la littérature scientifique pour les thèmes en lien avec l'article scientifique de ce mémoire. Cette revue de littérature débute par une explication des théories de l'attention et de l'attention divisée. Par la suite, des théories et des études relatives au multitâche sont présentées en lien avec les concepts d'attention divisée. Ces théories et ces études sont ensuite appliquées au contexte particulier de la conduite automobile, en découlant sur la conduite automobile avec distraction. Puis, une revue des statistiques récentes sur les objets connectés est présentée avant d'invoquer quelques études plus spécifiques sur la montre intelligente et les assistants vocaux en contexte de conduite automobile. La revue se termine en soulevant les principaux écarts dans la littérature en ce qui concerne la montre intelligente et la distraction au volant.

Certains journaux scientifiques ont été systématiquement étudiés dans le cadre de cette revue de littérature dans le but de mieux comprendre les enjeux qu'elle tente d'éclairer. *Accident Analysis and Prevention*, *Transportation research Part F: Traffic psychology and behaviour* ainsi que *Transportation Research Part A: Policy and Practice* sont des journaux scientifiques qui ont été identifiés comme étant intéressants par rapport à la conduite automobile et la conduite automobile avec distraction. *Encyclopedia of Perception* est un ouvrage qui m'a permis d'en apprendre plus sur les concepts plus généraux de l'attention et de l'attention divisée.

Certains articles scientifiques ont également été trouvés grâce à une recherche par mots clés. Certains mots clés comme *Attention*, *Distraction*, *Smartwatch*, *Smartphones*, *Driving*, *Driver distraction*, *Driving Simulator* et *Workload* m'ont permis de trouver plusieurs articles scientifiques présents dans cette revue de littérature. Quelques méta-analyses, aussi présentes dans la revue de littérature présentée ci-dessous, m'ont également orienté vers des articles scientifiques pertinents.

1- Attention et attention divisée

Même si nous sommes confrontés à une quantité assez impressionnante d'information à chaque fois que nous ouvrons les yeux, notre cerveau en filtre le contenu en nous rendant conscients de seulement une partie de cette information. C'est parce que nous sélectionnons l'information pertinente de l'océan d'information impertinente qui nous entoure (Carrasco, 2010). Ce processus de sélection, commun à tous les humains, se nomme l'attention. L'attention est le nom qu'on donne au processus qui gouverne ce qui entre notre conscience et ce qui n'y entre pas, compte tenu de la quantité d'information à laquelle nous sommes confrontés chaque jour (Carrasco, 2010). Ce processus de sélection est nécessaire parce que notre capacité d'absorption de l'information est limitée (Carrasco, 2010).

On peut porter attention à un stimulus dans l'environnement de plusieurs façons : de manière auditive, de manière tactile et de manière visuelle (Spence, 2010). La recherche sur l'attention s'attarde en général à l'attention visuelle, qui peut elle-même se diviser en trois types. L'attention spatiale désigne une situation où une personne porte attention à un espace dans son environnement. L'attention basée sur les caractéristiques désigne l'attention portée sur des éléments plus spécifiques comme la couleur ou l'orientation d'un stimulus, peu importe son emplacement (Carrasco, 2010). L'attention basée sur les objets, quant à elle, désigne une situation où une personne sélectionne un objet en particulier (Behrmann & Shomstein, 2010).

Les chercheurs étudiant l'attention spatiale distinguent deux types de processus de sélection. L'attention *endogène* est définie comme étant l'orientation volontaire de l'attention vers un emplacement dans l'espace, comme lorsqu'on aperçoit un ami à un événement (Spence, 2010). L'attention *exogène*, quant à elle, désigne lorsque l'attention se tourne par réflexe vers un stimulus, comme lorsqu'un insecte se pose sur notre bras (Spence, 2010). Parallèlement, les chercheurs distinguent deux types d'orientation de l'attention : *Overt* et *Covert*. L'orientation dite *Overt* réfère à un changement d'orientation d'un récepteur, comme l'œil, vers un autre emplacement tandis que *Covert* réfère à un changement interne de l'attention, comme lorsqu'on regarde quelqu'un s'en aller du coin de l'œil (Spence, 2010).

Certains chercheurs sont d'avis qu'il faut absolument être attentif à un stimulus pour en être conscient (Moore, 2010 ; Mack & Rock, 1998 ; Posner, 1994). Une expérience suggère qu'il est difficile d'être conscient de stimuli placés à certaines positions si notre attention n'y est pas dirigée d'une façon ou d'une autre (Posner, 1994). Une autre étude semble indiquer que, si l'on dirige l'attention d'une personne sur une chose en particulier, cette personne peut manquer complètement un élément superposé dans le même champ visuel (Mack & Rock, 1998). L'étude demandait aux participants de porter attention aux lignes horizontales et verticales d'une croix et de rapporter laquelle était la plus longue. En même temps, un autre stimulus était présenté à un autre endroit, comportant des formes de couleur. Souvent, les participants ne semblaient pas les voir. Ce phénomène a été baptisé *inattentional blindness*.

Si l'attention semble nécessaire à la conscience des stimuli, peut-être n'est-elle pas suffisante. Plusieurs chercheurs ont émis comme hypothèse que les gens doivent être attentifs à quelque chose pour en être conscients, mais que ça ne suffit pas à en être conscient (Moore, 2010). L'attention agirait en effet comme un garde protégeant l'esprit de la vaste quantité d'information qui le bombarde. Une étude démontre que moins de 40% de ses participants avaient remarqué que le chercheur qui les avait accueillis avait changé après une courte conversation lorsque celui-ci se pencha pour prendre du matériel et qu'un deuxième chercheur attendait accroupi sous la table pour se lever et prendre la place du premier chercheur (Levin & Simons, 1997). Pourtant, les participants étaient assez attentifs pour avoir maintenu une conversation avec leur interlocuteur. Ainsi, nous pouvons constater que l'attention n'est pas un processus parfait, et que même si une personne porte attention à ce qu'il fait, il y a toujours des lacunes qui font en sorte qu'il n'est pas nécessairement conscient de tout ce qui se passe.

D'autres chercheurs pensent que l'attention n'est ni nécessaire ni suffisante pour être conscient de ce que nous faisons (Koch & Tsuchiya, 2006 ; Lamme, 2003 ; Moore, 2010). Malgré le lien très fort qui les unit, l'attention et la conscience ne feraient qu'interagir l'un avec l'autre sans pour autant que l'un soit nécessaire à l'autre. Pour confirmer cette théorie, une chercheuse a présenté certaines illusions visuelles à l'arrière-plan d'images (Moore, 2010). Même si les participants ne voyaient pas les illusions et n'y portaient pas attention, ils avaient expérimenté les

illusions en arrière-plan sans pouvoir pour autant reporter les motifs qu'ils représentaient, ce qui suggère que ces motifs étaient au moins perçus suffisamment par les participants pour modifier leur perception. Les gens semblent être au moins conscients temporairement de quelque chose, mais si l'attention ne s'y attarde pas, cette chose ne frayera pas son chemin vers la mémoire.

Il n'est pas rare que notre système de contrôle attentionnel nous fasse défaut dans certaines situations. Un déficit de ce système lors d'une activité peut survenir par inattention ou par distraction (Lemerrier & Cellier, 2008). L'inattention survient, par exemple, lorsqu'une personne exécute une tâche, comme conduire un véhicule automobile, et qu'elle commence à penser à autre chose. La personne réoriente ainsi son contrôle attentionnel vers ses pensées internes (Lemerrier & Cellier, 2008). La distraction, quant à elle, survient lorsqu'un élément externe à la tâche capte l'attention de la personne (Lemerrier & Cellier, 2008). En contexte de conduite automobile, la sonnerie d'un téléphone cellulaire peut réorienter l'attention du conducteur vers un autre stimulus, divisant ainsi son attention.

L'attention divisée désigne une situation où l'attention d'une personne se fixe sur plus d'une chose en même temps. Deux théories tentent d'expliquer l'interaction entre deux tâches dans un contexte d'attention divisée : les théories de la capacité (Capacity Theories) et les théories structurelles (Structural Theories) (Folk, 2010). Les théories de la capacité assument que les tâches mentales requièrent des ressources qui sont limitées (Kahneman, 1973). Si les différentes tâches qu'on exécute simultanément utilisent toutes les ressources jusqu'à dépasser les capacités mentales disponibles, les performances sur une ou plusieurs des tâches se détérioreront. Certaines recherches expliquent que ces ressources disponibles sont plus spécifiques, c'est-à-dire que plus les tâches se ressemblent, plus elles compétitionnent pour l'attention (Folk, 2010). Les théories structurelles, quant à elles, attribuent cette baisse de performance à des mécanismes procéduraux (Broadbent, 1958). Certaines opérations mentales cruciales ne peuvent être appliquées qu'à un seul stimulus ou une seule tâche à la fois, ce qui crée une situation où la personne essaie d'accomplir plusieurs tâches utilisant les mêmes mécanismes simultanément (Folk, 2010). Les gens doivent ainsi attendre d'avoir fini une tâche avant de pouvoir poser leur attention sur une autre.

2- Multitâche

Avec la complexité grandissante de la vie de tous les jours et de l'environnement de travail, faire du multitâche est devenu plus coutumier que jamais (Spink, 2004). Une étude sur des employés d'une compagnie en technologies de l'information nous révèle même que les employés gardent leur attention sur une tâche pendant en moyenne 3 minutes avant de changer leur attention d'endroit pour entreprendre une nouvelle tâche (Gonzalez & Mark, 2004). Le multitâche est bel et bien rendu ancré dans nos pratiques.

Déplacer son attention de tâche en tâche est un phénomène que l'on appelle *task switching* (Monsell, 2003). Lors d'expériences en laboratoire, des chercheurs ont pu constater que les participants prenaient plus de temps avant d'entreprendre une tâche lorsqu'ils étaient en train de faire une autre tâche que lorsqu'ils n'en faisaient pas. Ce phénomène se nomme *switch cost* ou coût de changement (Monsell, 2003). Le *switch cost* peut être atténué si une personne se prépare à l'arrivée de la prochaine tâche sans toutefois être éliminée complètement (Nieuwenhuis & Monsell, 2002).

Une des explications concernant le coût de changement de tâche en contexte de multitâche se nomme la *task-set reconfiguration explanation* (Evans et al., 2015). Lorsqu'un *task set*, qui désigne une collection de processus cognitifs qu'une personne a besoin pour compléter une tâche (Evans et al., 2015), est utilisé pour compléter une tâche et qu'une autre tâche doit être complétée en même temps, le système cognitif doit se reconfigurer pour répondre à la nouvelle tâche. Cela augmente le temps de réaction contrairement à une situation où la personne entreprend une tâche où il n'y a pas de multitâche.

Une autre théorie expliquant le coût de changement se nomme la *task inertia theory* (Nieuwenhuis & Monsell, 2002). Cette théorie explique que le coût de changement provient de l'interférence d'une autre tâche. Comme la *task-set reconfiguration explanation*, la *task inertia theory* explique que le système cognitif doit se reconfigurer pour passer d'une tâche à une autre, mais cette théorie met plutôt l'emphase sur la difficulté d'arrêter le processus de la première tâche en cours d'exécution contrairement à la première explication qui explique que l'esprit

tente de se préparer à la nouvelle tâche. Les chercheurs qui appuient cette théorie disent que, même lorsque les individus changent de tâche, l'activation causée par le *task set* précédent persiste, ce qui fait interférence à la prochaine tâche qu'ils doivent accomplir (Allport et al., 1994; Wylie & Allport, 2000). Le coût de changement reflète alors le temps nécessaire pour surmonter cette interférence.

La théorie de la *threaded cognition* est une autre théorie sur le multitâche. Elle illustre chaque comportement de multitâche comme un ou plusieurs fils qui fonctionnent simultanément (Salvucci & Taatgen, 2011). Chaque fil cognitif représente une tâche indépendante qu'on essaie de performer. On peut faire du multitâche séquentiel, comme lorsqu'on lit une recette en cuisinant, ou du multitâche concurrent comme prendre des notes en écoutant dans un cours ou parler en conduisant (Salvucci et al., 2009). Ce concept se nomme le continuum du multitâche. Dans une situation de multitâche concurrente, le cerveau doit rassembler ses ressources, qui doivent travailler ensemble pour accomplir un but même si parfois il peut que ce but soit plus difficilement atteint si l'allocation des ressources est conflictuelle (Salvucci & Taatgen, 2011). Les ressources perceptuelles (la vision et l'ouïe) ainsi que les mouvements et la parole communiquent tous avec les ressources procédurales du cerveau pour coordonner les actions en contexte de multitâche. Les ressources procédurales vont également prendre en considération le problème rencontré, le but à atteindre ainsi que la mémoire pour tenter d'accomplir les tâches de manière concurrente. Lorsqu'une même ressource doit être utilisée pour plus qu'une chose en même temps, cela crée un effet de *goulot d'étranglement*, ce qui ralentit évidemment le processus menant à l'atteinte d'un but. Comme chaque ressource ne peut qu'être utilisée sur un seul fil à la fois, le cerveau va assigner la ressource à ce qu'il considère comme étant le fil le plus urgent avant de passer à la prochaine requête (Salvucci & Taatgen, 2011).

Certaines études ayant pris comme modèle le protocole de la double tâche suggèrent que le multitâche ne permet pas d'être plus productif, mais qu'il diminue la performance en plus d'augmenter le risque d'erreurs et de distractions (Courage, et al., 2015). Une de ces études, en comparant les performances de tâches séparées et en multitâche, a pu conclure que les individus en situation de multitâche ne pouvaient pas répondre aussi bien aux exigences des tâches

puisqu'ils divisent leur attention en va-et-vient (Pollard & Courage, 2017). Un modèle a été développé il y a quelques années pour tenter de mieux comprendre le multitâche, séparant les ressources en trois catégories (Wickens, 1984) : les modalités d'entrée (visuel et auditif), les codes d'opération (verbal et spatial) ainsi que les modalités de réponses (vocal et manuel). Les performances des gens en multitâche dépendent ainsi du chevauchement que font les tâches à travers les différentes catégories. Si le processus de complétion de la tâche fait en sorte que deux tâches se chevauchent dans la même catégorie, le multitâche sera moins efficace que la complétion des deux tâches séparément.

Diviser notre attention fait en sorte qu'on ne peut pas se concentrer sur deux choses en même temps avec la même efficacité que si on se concentrait sur une chose à la fois. En contexte de multitâche, cela signifie que nos performances dans les tâches que nous entreprenons sont moins bonnes que si nous les exécutons une à la suite de l'autre. Dans certaines situations où l'une des tâches est plus complexe et plus dangereuse, diviser son attention vers une autre tâche simultanément pourrait attirer des ennuis à ceux qui décident de le faire.

3- La conduite automobile

La conduite automobile est un processus qui est, de base, très complexe. Si complexe qu'au Québec, avant d'être titulaire d'un permis de conduire, il faut d'abord obtenir un permis d'apprenti conducteur, suivre avec succès un cours de conduite, puis réussir les examens théoriques et l'examen pratique de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ, 2020). Le cours de conduite est un processus assez long qui s'étend sur 24 heures théoriques et 15 heures de pratique avec un moniteur avant de pouvoir prendre le volant seul (SAAQ, 2020). Plusieurs tâches entrent en compte lors du processus de conduite automobile : le contrôle du volant et du véhicule sur la route, les manœuvres de changement de voie ou d'entrée sur l'autoroute, le calcul de la distance avec les autres automobilistes et même la planification vers le point de destination et la façon de s'y rendre. Sans compter la connaissance des règles de circulation qui sont assez chargées et qui doivent être respectées.

Un processus aussi complexe que la conduite automobile ne doit ainsi pas être accompagné de trop de distractions. On ne doit donc pas utiliser de cellulaires ou tout autre appareil électronique portatif, sauf s'il s'agit d'un dispositif mains libres (SAAQ, 2020). Un écran peut être intégré au véhicule ou être attaché sur un support fixé à celui-ci, mais il ne peut qu'afficher des informations utiles à la conduite automobile.

Aux États-Unis, la distraction au volant a enlevé la vie à 3166 personnes en 2017 (National Highway Traffic Safety Administration, 2019). C'est 9% de tous les décès liés aux accidents de voiture au pays cette année-là. 14 % de ces 3166 sont morts parce qu'un téléphone cellulaire était en usage lors de l'accident. Encore plus inquiétant, ce pourcentage augmente plus les gens sont jeunes. Chez les gens âgés de 15 à 19 ans, 19% des accidents fatals causés par la distraction au volant sont survenus en raison de l'utilisation de cellulaire (NHTSA, 2019). Ce pourcentage augmente jusqu'à 23% lorsqu'on ne retient que les jeunes âgés de 15 à 19 ans. Un constat qui choque, puisque cela signifie que l'utilisation du cellulaire au volant sera de plus en plus problématique avec une génération qui l'utilise de plus en plus dans un contexte illégal.

Tenir son téléphone mobile sur son oreille en conduisant est devenue pratique moins courante ces dernières années. Toujours aux États-Unis, 5.2% des conducteurs étaient coupables d'un tel acte en 2012 contre 2.9% des gens en 2017 (NHTSA, 2019). Les conducteurs plus jeunes semblent être plus propices à ce genre d'activité, puisque 3.8 % des conducteurs âgés de 16 à 24 ans ont collé leur oreille contre un appareil en 2017 contre 3.0% pour ceux âgés de 25 à 69 ans.

Malheureusement, si moins de gens mettent leur téléphone à leur oreille pour communiquer, il y a plus de gens qui manipulent leurs appareils électroniques avec leurs mains au volant. En effet, même si le pourcentage de ces conducteurs s'est stabilisé, et a même légèrement baissé ces dernières années (2014 : 2.2% ; 2015 : 2.2% ; 2016 : 2% ; 2017 : 2.0%), il a tout de même augmenté depuis le début de la décennie (NHTSA, 2019). 0.9 % des conducteurs manipulaient leurs appareils électroniques en conduisant en 2010. Un chiffre qui augmente à 1.3% en 2011, puis à 1.5% en 2012 (NHTSA, 2019). Une tendance aussi inquiétante qu'illégale. Encore une fois, ce phénomène semble s'accroître plus le conducteur est jeune

avec 3.9% des conducteurs entre 16 et 24 ans en 2017 qui étaient distraits de telle façon au volant contre 1.9% de ceux âgés de 25 à 69 ans (NHTSA, 2019).

Si la tendance se maintient, de plus en plus de conducteurs seront distraits par l'utilisation d'appareils électroniques au volant. En 2014, les Américains passaient en moyenne 2 heures 32 minutes sur leurs appareils mobiles. Quatre ans plus tard en 2018, ils y passaient 3 heures 35 minutes en moyenne (Wurmser, 2019). Une étude explique également que 96% des Américains utilisent un téléphone cellulaire (Pew Research Center, 2019). Un pourcentage qui grimpe à 99% chez les 18-29 ans et chez les 30-49 ans. Les générations plus jeunes sont ainsi vraisemblablement plus concernées par les technologies, ce qui pourrait mener à plus en plus de gens distraits au volant par ces mêmes appareils au fil du temps.

4- La conduite automobile avec distraction

Une des façons de conduire son automobile et d'utiliser son téléphone cellulaire de façon légale est de mettre son téléphone cellulaire sur un support fixe et de l'utiliser en mode mains libres. Mais est-ce que cette utilisation du gadget, même en mode mains libre, est sécuritaire? Qu'en est-il des autres distractions possibles à l'intérieur du véhicule?

Dans les premières études liées au téléphone cellulaire en conduisant, le nombre de personnes utilisant leur téléphone au volant se situait entre 1,5% (Horberry et al., 2001) et 3% (Utter, 2001). Une étude plus récente ayant observé 16 556 conducteurs automobiles à plusieurs endroits au nord de la Virginie nous démontre que 23,4% des gens observés s'affairaient à faire une autre tâche en plus de la conduite automobile (Kidd et al., 2016). 5,1 % d'entre eux tenaient leurs cellulaires, 4,2% d'entre eux parlaient au téléphone avec l'usage de leurs mains, 2,3% d'entre eux manipulaient leur téléphone, 3,1% d'entre eux mangeaient ou buvaient, 2,7% d'entre eux chantaient ou parlaient avec un passager, 1,6 % d'entre eux fumaient, 1,3% d'entre eux portaient des écouteurs, 0,6% d'entre eux portaient un dispositif Bluetooth, 0,4% manipulaient un dispositif intégré à leur véhicule et 0,4% d'entre eux se faisaient une beauté. Autant de distractions au volant, bien qu'elles soient majoritairement légales.

Même si certaines distractions sont légales, ça ne veut pas dire qu'elles ne sont pas dangereuses. Une étude sur la musique en conduisant trouve que les conducteurs automobiles qui écoutent leur musique préférée font plus d'erreurs de calcul et commettent plus de violations de la route (Brodsky & Slor, 2013). Une autre étude démontre que les conducteurs qui interagissent avec des passagers sont plus distraits et gardent moins souvent les yeux sur la route avec plus de périodes de plus de deux secondes ailleurs que sur la route (Koppel et al., 2011). La charge cognitive perçue des participants d'une autre étude était également plus importante lorsqu'ils buvaient ou qu'ils mangeaient en conduisant que lors de la conduite sans distraction (Young et. al., 2008).

Évidemment, les études sur les tâches secondaires en conduite automobile se sont surtout concentrées sur l'utilisation du téléphone cellulaire, que ce soit en textant ou en parlant, à la fois avec ou sans l'usage des mains. Ainsi, la conversation sur le téléphone cellulaire perturbe la performance en détournant l'attention de la tâche de conduite, ce qui fait en sorte que le conducteur distingue moins l'environnement extérieur de la voiture (Strayer & Drews, 2007). Les conducteurs automobiles n'arrivent pas à voir certaines informations de l'environnement dans lequel ils conduisent parce qu'ils n'arrivent pas à encoder aussi bien qu'ils ne le pourraient s'ils ne parlaient pas sur leur téléphone cellulaire. Une méta analyse de 33 études qui avaient pour sujet l'effet du téléphone cellulaire sur la conduite automobile a des résultats sans équivoque : la conversation téléphonique, à la fois en mode mains libres et en mode normal (en tenant le téléphone avec la main sur l'oreille), provoque des temps de réaction qui sont relativement les mêmes (Caird et al., 2008). Selon les différentes études, les deux conditions produisent un risque néfaste et similaire par rapport aux accidents.

L'envoi et la réception de textos au volant sont d'autres phénomènes qui semblent distraire de plus en plus de conducteurs automobiles de nos jours, même si, au Québec, ils sont complètement illégaux (SAAQ, 2020). Une étude allemande sur 11 837 conducteurs automobiles à travers trois grandes villes démontre que 4,5% des gens observés manipulaient leur téléphone au volant (Volrath et al., 2016). Une autre étude demandant à 1211 participants s'ils textaient au volant nous démontre que 33% des répondants ont écrit un texto dans les 30 jours avant qu'ils répondent au sondage avec 48% des répondants prétendant avoir lu un texto dans

les mêmes 30 jours (Gliklich et al., 2016). Aussi, dans un sondage distribué à 8505 étudiants américains, 45% d'entre eux admettaient avoir texté au volant dans le mois précédent leur réponse (Olsen et al., 2013). Dans un sondage similaire, mais plus récent, 90% des 469 répondants ont utilisé leur téléphone pour autre chose que passer un appel en conduisant dans le mois précédant leur réponse (Meldrum et al, 2019). Une méta analyse des études ayant comme sujet les textos au volant rapporte que les participants qui textent sur leurs téléphones donnent des coups d'œil fréquents et prolongés en dehors de la route, qu'ils prennent plus de temps à répondre aux dangers et qu'ils détectent moins certains stimuli (Caird et al., 2014). Les participants des différentes expériences étudiées ont également plus de difficulté à rester dans leur voie et sont impliqués dans un plus grand nombre d'accidents. Texter et lire en même temps les messages impactent similairement la performance de conduite, tandis que la lecture de textos seule impacte légèrement moins les performances, même si un impact négatif eût été aussi observé. Un simple texto qui lit « *I'm on my way home.* » prends en moyenne 37 secondes à écrire avec 26 secondes où le regard n'est pas sur la route (Caird et al., 2014).

De plus, un groupe de chercheurs tenta de comparer la différence entre la distraction d'une saisie de texte vocale et d'une saisie de texte manuelle au volant (He et al., 2014). Les chercheurs ont conclu que, même si les deux façons de saisir du texte étaient plus distrayantes que dans la condition « juste conduire », la condition de saisie vocale était moins distrayante que la condition de saisie manuelle de texte.

5- Les objets connectés

Aujourd'hui, plusieurs types d'objets sont aussi connectés, comme le téléphone mobile, à la personne. Nous n'avons qu'à penser aux dispositifs Bluetooth, qui sont plutôt communs, mais aussi aux assistants vocaux comme Google Home et Alexa, sans oublier les drones, plus complexes, mais tout aussi fascinants.

Par ailleurs, l'assistance vocale peut aujourd'hui se faire à travers plusieurs dispositifs. D'après une étude faite sur 7000 consommateurs à travers 4 pays, 72% utilisaient l'assistance vocale à travers un assistant digital personnel comme Siri

ou Google Assistant (Olson & Kemery, 2019). 35% des répondants utilisaient leur voix pour interagir avec leurs haut-parleurs intelligents, comme un Google Home ou un haut-parleur Alexa. 36% des répondants utilisaient des commandes vocales pour interagir avec leur téléviseur alors que 31% d'entre eux utilisaient la commande vocale sur leur véhicule automobile.

Évidemment, lorsqu'on parle d'objets connectés, on ne peut pas passer par-dessus la montre intelligente. La montre intelligente fait partie de la famille des *wearables*, qui sont des objets connectés que les gens peuvent porter sur leur personne.

Le revenu mondial des *wearables* équivalait à plus de 16 milliards de dollars américains en 2016, avec une projection estimée à 73,27 milliards en 2022 (Tractica, 2017). En 2018, plus de 174 millions de *wearables* ont été expédiés dans le monde (IDC, 2019). Lorsqu'on jette un coup d'oeil chez nous au Canada, c'est 8,1% de la population qui portait des objets connectés sur leur personne en 2019 (Statista, 2019).

Une étude estime que plus de la moitié des utilisateurs de *wearables* (50,6%) utilisent une montre intelligente régulièrement (Wurmser, Janvier 2019). La popularité de la montre intelligente est devenue indéniable, puisqu'un américain sur six en possède désormais une (Whitwam, 2019). Forbes projette même que la montre intelligente devrait gagner du terrain sur les autres *wearables* en passant de 58,2% de toute la technologie *wearable* vendue en 2018 à 63,3% en 2022 (Lamkin, 2018). L'impact de la montre intelligente est de plus en plus senti dans la société technologiquement avancée d'aujourd'hui. Comme la montre intelligente est un dispositif que l'on porte sur le poignet et qu'on n'enlève jamais vraiment, les chances sont très bonnes que les utilisateurs de cette technologie l'utilisent en contexte de conduite automobile. Si plusieurs études nous ont prouvé que le téléphone cellulaire est distrayant au volant, qu'en est-il de la montre intelligente?

6- La montre intelligente, les assistants vocaux et la distraction au volant

Une personne peut aujourd'hui utiliser l'assistance vocale dans son véhicule afin de l'aider dans sa tâche de conduite. Une recherche étudiant l'interaction vocale à l'intérieur du véhicule a découvert que les performances de conduite sont meilleures lorsqu'une personne utilise sa voix pour faire un appel, lorsqu'elle sélectionne une chanson et lorsqu'elle entre une adresse dans son appareil GPS que lorsqu'elle fait les mêmes actions manuellement (Maciej & Vollrath, 2009). Jensen et al. (2010) rapportent que les performances de conduite sont meilleures lorsque les automobilistes reçoivent leurs informations de navigation de manière auditive que de manière visuelle. Baron et Green (2006) arrivent aux mêmes conclusions dans leur revue de quinze expériences sur les interfaces vocales pour des tâches à l'intérieur d'un véhicule comme la sélection de musique, le traitement de courriel et l'entrée de destination. La revue indique que les performances de conduite sont meilleures, que la charge cognitive est plus faible et que le temps où les yeux ne sont plus sur la route est plus court lorsque ces tâches sont accomplies vocalement plutôt que manuellement.

Aujourd'hui des applications nous permettent d'utiliser nos assistants vocaux au volant et d'interagir avec eux. Une application comme Apple CarPlay permet aux automobilistes de recevoir des notifications et d'entendre vocalement les messages qu'elles contiennent (Apple, 2020). Cette nouvelle technologie permet également aux utilisateurs d'envoyer des messages par saisie de texte vocale, ce qui élimine en théorie la manipulation manuelle d'appareils à l'intérieur d'un véhicule.

La littérature scientifique n'a pas beaucoup abordé le sujet de la distraction de la montre intelligente au volant comme elle l'a fait avec le téléphone cellulaire sous toutes ces utilisations. Une des premières études faites à ce sujet comparait les effets qu'avaient les notifications reçues sur un téléphone cellulaire à celles reçues sur une montre intelligente en conduisant dans un simulateur de conduite (Giang et al., 2014). Les participants devaient conduire dans une zone rurale, puis dans une zone urbaine avec des événements inattendus qui se produisaient pour accentuer la vigilance des participants. Même s'il n'y avait que 6 participants, les résultats étudiés sont d'intérêt. Le temps d'engagement, qui est défini comme étant le temps qui s'est écoulé entre le premier coup d'œil vers le dispositif et la réponse verbale du participant, était plus court pour le téléphone que pour la montre en ce

qui a trait aux notifications simples. Les coups d'œil étaient en moyenne plus longs sur la montre que sur le téléphone et le pourcentage de temps où les yeux sont hors de la route était plus grand sur la montre que sur le téléphone. Des résultats qui suggèrent que la distraction d'une montre intelligente est peut-être pire que la distraction du téléphone.

La même équipe de chercheurs s'est penchée sur la question de la distraction de la montre intelligente au volant avec une autre approche (Giang et al., 2015), cette fois-ci avec 12 participants, mais avec la même montre intelligente et le même téléphone intelligent. Le design expérimental était quelque peu différent, avec une simulation de conduite qui comportait un véhicule qui roulait en avant du participant et un autre en arrière. Lorsque le premier véhicule freinait, les chercheurs calculaient le temps de réponse des participants avant qu'ils freinent en plus d'autres mesures liées au regard du participant sur la route et hors route. Les conclusions de cette étude étaient que, même s'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre la durée des coups d'œil portés aux appareils, le nombre de coups d'œil était plus élevé pour la montre que pour le téléphone. Pour ce qui est de la durée totale des coups d'œil après une notification, les résultats indiquaient également que les participants regardaient en moyenne plus longtemps la montre intelligente que le téléphone intelligent. Pour ce qui est du temps d'engagement, les chercheurs apportent une nuance aux trouvailles qu'ils ont faites dans la première expérience, puisqu'il est significativement plus long sur la montre que sur le téléphone, mais seulement pour les utilisateurs novices de la montre. Pour les participants plus experts, il n'y avait pas de différence significative. Finalement, les chercheurs ont regardé le Brake Response Time (BRT), où ils mesuraient le temps entre le moment d'application des freins par le premier véhicule et celui où le participant applique les freins. En même temps, les participants recevaient des notifications. Le BRT était plus long lorsque les participants interagissaient avec la montre qu'avec le téléphone. Encore une fois, la montre intelligente semble être plus distrayante que le téléphone, même si les participants de l'étude ont évalué le risque au volant comme étant similaire dans les deux conditions.

Une autre étude comparait la distraction entre passer un appel à l'aide de la montre intelligente en utilisant son assistant vocal, passer un appel à l'aide de l'assistant

vocal du téléphone et passer un appel sur le téléphone de façon manuelle (Perlman et al., 2019). Si le fait de passer un appel sur la montre intelligente avait des effets assez similaires au fait de passer un appel avec un assistant vocal sur le téléphone, il été découvert que placer un appel manuellement avec le téléphone augmentait le temps de réaction, la durée des coups d'œil hors route, le pourcentage de longs coups d'œil hors route, le temps total où l'œil regarde hors de la route et le pourcentage où le regard est hors route. Comme avec les études précédentes, la montre intelligente augmentait la longueur de la tâche ainsi que la que le nombre de coups d'œil sur le dispositif par rapport au téléphone (condition assistant vocal). 36 participants ont participé à l'étude concoctée sur un simulateur de conduite avec un environnement qui consistait de deux voies de trafic dans chaque direction.

S'il est intéressant et important de comparer la montre intelligente au téléphone mobile comme l'ont fait plusieurs études auparavant (Giang et. al, 2014, Giang et al., 2015, Samost et al., 2015, Perlman et al., 2019), il peut être aussi intéressant de comparer d'autres façons d'interagir avec un dispositif à l'intérieur d'un véhicule. Samost et. al (2015) étudie comment les gens initient des appels téléphoniques de plusieurs manières, comme de manière vocale. Cette étude sur les commandes activées par la voix nous intrigue par rapport à la distraction de la réception de notifications auditives par rapport à des notifications écrites comme celles envoyées dans les deux études de Giang et. al (2014, 2015). Dans leur étude, He et al. (2014) décident de comparer l'entrée de texte à vocale à l'entrée de texte manuelle. Une expérience englobant les différentes façons de recevoir des notifications (sur un téléphone mobile, sur la montre intelligente et de manière auditive) qui compare aussi l'entrée de texte vocale à l'entrée de texte manuelle (uniquement sur le téléphone mobile puisque l'entrée de texte manuelle sur une montre intelligente est un processus difficile compte tenu de la petite taille de l'écran) nous aiderait à mieux comprendre le phénomène de distraction que causent ces différents dispositifs au volant en plus de nous aider à identifier de quelle façon nous pourrions conduire de manière plus sécuritaire.

Si peu d'études ont été faites sur la montre intelligente et son impact sur les conducteurs automobiles, seulement une d'entre elles étudie un environnement naturel de conduite avec des zones urbaines et un environnement constitué

d'autres automobilistes et d'éléments du Code de la route comme des feux de circulation ou des panneaux de signalisation (Giang et al., 2014). L'échantillon de cette étude était d'ailleurs assez petit avec seulement six participants. Une étude avec un plus grand échantillon dans un environnement de conduite plus naturel aiderait à étoffer la littérature sur le sujet.

Références

Allport A., Styles E. A., Hsieh S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In Umiltà C., Moscovitch M. (Eds.), *Attention and performance XV* (pp. 421– 452). Cambridge, MA: MIT Press.

Apple (2020). *Utilisez CarPlay avec votre iPhone*.

<https://support.apple.com/fr-ca/HT205634>

Barón, A., & Green, P. (2006). Safety and Usability of Speech Interfaces for In-Vehicle Tasks while Driving: A Brief Literature Review. Technical Report UMTRI.

Behrmann, M & Shomstein, S (2010) Attention: Object-Based, in *Encyclopedia of Perception*, E.B.Goldstein, Editor. SAGE: London. pp. 94-97.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Oxford University Press.

Brodsky, W., & Slor, Z. (2013). Background music as a risk factor for distraction among young- novice drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 382-393.

Caird, J. K., Johnston, K. A., Willness, C. R., Asbridge, M., & Steel, P. (2014). A meta-analysis of the effects of texting on driving. *Accident Analysis & Prevention*, 71, 311-318.

Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P., & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1282-1293.

Carrasco, M. (2010) Attention: Covert, in *Encyclopedia of Perception*, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. pp. 74-78.

Carrasco, M. (2010) Attention: Effect on Perception, in Encyclopedia of Perception, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. pp. 90-94.

Courage, M. L., Bakhtiar, A., Fitzpatrick, C., Kenny, S., & Brandeau, K. (2015). Growing up multitasking: The costs and benefits for cognitive development. *Developmental Review*, 35, 5-41.

Evans, L. H., Herron, J. E., & Wilding, E. L. (2015). Direct real-time neural evidence for task-set inertia. *Psychological science*, 26(3), 284-290.

Folk, C.L. (2010) Attention: Divided, in Encyclopedia of Perception, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. pp. 84-87.

Giang, W. C., Hoekstra-Atwood, L., & Donmez, B. (2014, September). Driver engagement in notifications: a comparison of visual-manual interaction between smartwatches and smartphones. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 58, No. 1, pp. 2161-2165). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.

Giang, W. C., Shanti, I., Chen, H. Y. W., Zhou, A., & Donmez, B. (2015, September). Smartwatches vs. smartphones: a preliminary report of driver behavior and perceived risk while responding to notifications. In *Proceedings of the 7th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 154-161). ACM.

Gliklich, E., Guo, R., & Bergmark, R. W. (2016). Texting while driving: A study of 1211 U.S. adults with the Distracted Driving Survey. *Preventive medicine reports*, 4, 486-489.

González, V. M., Mark, G., & Mark, G. (2004, April). Constant, constant, multi-tasking craziness: managing multiple working spheres. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 113-120). ACM.

He, J., Chaparro, A., Nguyen, B., Burge, R. J., Crandall, J., Chaparro, B., ... & Cao, S. (2014). Texting while driving: Is speech-based text entry less risky than handheld text entry?. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 287-295.

Horberry, T., Bubnich, C., Hartley, L., & Lamble, D. (2001). Drivers' use of handheld mobile phones in Western Australia. *Transportation research Part F: Traffic psychology and behaviour*, 4(3), 213-218.

IDC. (June 19, 2019). Forecast wearables unit shipments worldwide from 2014 to 2023 (in millions) [Graph]. In *Statista*. Retrieved December 11, 2019, from <https://www.statista.com/statistics/437871/wearables-worldwide-shipments/>

Jensen, B. S., Skov, M. B., & Thiruravichandran, N. (2010). Studying driver attention and behaviour for three configurations of GPS navigation in real traffic driving. In: CHI '10 Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems. ACM, New York, NY, USA.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kidd, D. G., Tison, J., Chaudhary, N. K., McCartt, A. T., & Casanova-Powell, T. D. (2016). The influence of roadway situation, other contextual factors, and driver characteristics on the prevalence of driver secondary behaviors. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 41, 1-9.

Koch, C., & Tsuchiya, N. (2006). Attention and consciousness: Two distinct brain processes. *Trends in Cognitive Science*, 11, 16–22

Koppel, S., Charlton, J., Kopinathan, C., & Taranto, D. (2011). Are child occupants a significant source of driving distraction? *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1236-1244.

Lamkin, Paul (2018). *Smartwatches To Dominate Wearable Tech - Double Digit Growth Forecast For Industry*, Forbes
<https://www.forbes.com/sites/paullamkin/2018/12/19/smartwatches-to-dominate-wearable-tech-double-digit-growth-forecast-for-industry/#157659e61a4b>

Lamme, V. A. F. (2003). Why visual attention and awareness are different. *Trends in Cognitive Science*, 7, 12–18

Lemercier, C., & Cellier, J. M. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile: inattention, distraction et interférence. *Le travail humain*, 71(3), 271-296.

Levin, D. T., & Simons, D. J. (1997). Failure to detect changes to attended objects in motion pictures. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4(4), 501–506

Maciej, J., & Vollrath, M. (2009). Comparison of manual vs. speech-based interaction with in-vehicle information systems. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 924-930.

Mack, A., & Rock, I. (1998). Inattention blindness. Cambridge: MIT Press.

Meldrum, R. C., Boman, J. H., & Back, S. (2019). Low self-control, social learning, and texting while driving. *American journal of criminal justice*, 44(2), 191-210.

Moore, C., *Attention and Consciousness*, in *Encyclopedia of Perception*, E.B. Goldstein, Editor. 2010, SAGE: London. pp. 112-115.

Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134-140. doi:10.1016/S1364-6613(03)00028-7

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2019. Traffic safety facts: Driver Electronic Device Use, 2017. NHTSA, Washington, DC, Report No. DOT-HS812-665

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2019. Traffic safety facts: distracted driving in fatal crashes, 2017. NHTSA, Washington, DC, Report No. DOT-HS812-700

Nieuwenhuis, S., & Monsell, S. (2002). Residual costs in task switching: Testing the failure-to-engage hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(1), 86-92. doi:10.3758/BF03196259

Olsen, E. O. M., Shults, R. A., & Eaton, D. K. (2013). Texting while driving and other risky motor vehicle behaviors among U.S. high school students. *Pediatrics*, 131(6), e1708-e1715.

Olson, C., Kemery, K. (2019) *Voice Report. From answers to action: customer adoption of voice technology and digital assistants.*

https://advertiseonbing-blob.azureedge.net/blob/bingads/media/insight/whitepapers/2019/04%20apr/voice-report/bingads_2019_voicereport.pdf

Perlman, D., Samost, A., Domel, A. G., Mehler, B., Dobres, J., & Reimer, B. (2019). The relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. *Applied ergonomics*, 75, 8-16.

Pew Research Center (2019). *Mobile fact sheet*,

<https://www.pewresearch.org/internet/fact-sheet/mobile/>

Pollard, M. A., & Courage, M. L. (2017). Working memory capacity predicts effective multitasking. *Computers in Human Behavior*, 76, 450-462.

Posner, M. I. (1994). Attention: The mechanisms of consciousness. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91, 7398– 7403.

Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2011). Toward a unified view of cognitive control. *Topics in cognitive science*, 3(2), 227-230.

Salvucci, D. D., Taatgen, N. A., & Borst, J. P. (2009, April). Toward a unified theory of the multitasking continuum: From concurrent performance to task switching, interruption, and resumption. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1819-1828). ACM.

Samost, A., Perlman, D., Domel, A. G., Reimer, B., Mehler, B., Mehler, A., ... & McWilliams, T. (2015, September). Comparing the relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 59, No. 1, pp. 1602- 1606). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2020). *Distraction : Ce que dit la loi.* <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/comportements/distractions/ce-que-dit-la-loi/>

Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2020). *Obtenir son permis*. <https://saaq.gouv.qc.ca/permis-de-conduire/obtenir-permis/auto-classe-5/>

Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2018). Données et statistiques
<https://saaq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/donnees-statistiques-2018.pdf>

Spence, C. (2010) Attention: Cross-modal, in *Encyclopedia of Perception*, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. pp. 78-81.

Spink, A. (2004). Multitasking information behavior and information task switching: An exploratory study. *Journal of documentation*.

Statista Inc. (2019), "Wearables - Canada." *Statista*,
<https://www.statista.com/outlook/319/108/wearables/canada>

Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2007). Cell-phone–induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, 16(3), 128-131.

Tractica. (September 30, 2017). Wearable device sales revenue worldwide from 2016 to 2022 (in billion U.S. dollars) [Graph]. In *Statista*. Retrieved December 11, 2019, from <https://www.statista.com/statistics/610447/wearable-device-revenue-worldwide/>

Utter, D. (2001). *Passenger vehicle driver cell phone use: results from the fall 2000 national occupant protection use survey* (No. DOT HS 809 293). United States. National Highway Traffic Safety Administration.

Vollrath, M., Huemer, A. K., Teller, C., Likhacheva, A., & Fricke, J. (2016). Do German drivers use their smartphones safely? —Not really! *Accident Analysis & Prevention*, 96, 29-38.

Whitwam, Ryan (2019). *1 in 6 U.S. Adults Now Own a Smartwatch*, ExtremeTech
<https://www.extremetech.com/mobile/285724-1-in-6-us-adults-now-own-a-smartwatch>

Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman, & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-101). New York: Academic Press.

Wurmser, Yohan (Mai 2019). *U.S. time spent with mobile 2019*, eMarketer
<https://www.emarketer.com/content/us-time-spent-with-mobile-2019>

Wurmser, Yohan (Janvier 2019). *Wearables 2019*, eMarketer
<https://www.emarketer.com/content/wearables-2019>

Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of “switch costs”. *Psychological research*, 63(3-4), 212-233.

Young, M. S., Mahfoud, J. M., Walker, G. H., Jenkins, D. P., & Stanton, N. A. (2008). Crash dieting: The effects of eating and drinking on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 142-148.

Chapitre 2 : Article scientifique

Smartwatches are more distracting than mobile phones while driving : Results from an experimental study

Mathieu Brodeur ^a, Perrine Ruer ^a, Pierre-Majorique Léger ^a, Sylvain Sénécal ^a

^a HEC Montréal, Montréal, Canada

Corresponding author : mathieu.2.brodeur@hec.ca

perrine.ruer@hec.ca

pierre-majorique.leger@hec.ca

sylvain.senecal@hec.ca

Abstract

The use of the smartwatch raises several questions on the potential for distraction in situations where sustained attention is paramount, like driving a motor vehicle. Our research examines distraction caused by smartwatch use in comparison to mobile phone use while driving. It also studies the difference in the distraction caused by receiving inbound text messages versus inbound vocal messages, and outbound replies through text messages versus outbound vocal replies. A within-subject experiment was conducted in a driving simulator where participants received and answered text messages under four conditions: they received notifications (1) on a mobile phone, (2) on a smartwatch, and (3) on a speaker, and then responded orally to those messages. They also (4) received messages in a «texting» condition where they had to reply through text to the notifications. Eye tracking gaze distribution results show that participants were more distracted in the smartwatch condition than in the mobile phone condition, they were less distracted in the speaker condition than in the phone condition and they were more distracted in the texting condition than any other ones. Participants' driving behavior was not different throughout conditions except for the texting condition, where their driving performance was worse than in the other three conditions. Eye tracking and pupillometry results suggest participants' mental workload might be lower in the texting condition than in the other three conditions, although this result might be

caused by a higher number of glances to the device in that condition. This study contributes to a better understanding of the potential for distraction of the smartwatch as well as identifying vocal assistants as the least distracting way of communicating while driving a vehicle. Industry leaders could become a key factor in informing the public of the smartwatch's potential for distraction.

Keywords : Smartwatch, Mobile Phone, Vocal Assistant, Distraction, Divided Attention, Road Safety, Accident Prevention, Driving Simulation

1. INTRODUCTION

In 2017, 45.8 million Americans were wearing smart electronic devices that can either be worn as an accessory or simply as a part of an item of clothing with a projected 67 million users by 2022 (Statista, 2019). This emerging trend in the field of technology, called *wearables*, is quickly gaining in popularity. Experts foresee that the global wearable market will grow at a compound annual growth rate (CAGR) of 11.3% from 2019 to 2025 (PR Newswire, 2019). Wearables incorporate various items, the most popular of which is the smartwatch. More than half of wearables' users use a smartwatch at least once a month (Wurmser, 2019). A recent report notes that 1 out of 6 Americans own a smartwatch (Whitwam, 2019). Industry observers even project that the smartwatch will gain ground on other wearables by jumping from 58.2% of all wearable technology sold in 2018 to 63.3% in 2022 (Lamkin, 2019).

As smartwatches become more common, they also become a potential source of distraction. In certain contexts, like driving a motor vehicle, smartwatches could even become a threat to safety, much like when drivers send texts with their mobile phones, reducing their attention and ability to react quickly (Caird et al., 2014). Doing anything other than driving a motor vehicle during the driving task that impairs driving and is not necessary to operate a vehicle can be considered as distracted driving (FindLaw, 2016). In 2017, 3166 people died on U.S. roads as a result of distracted driving (NHTSA, 2019).

In the United States, traffic laws differ from state to state. Most states do not have laws specifically prohibiting smartwatches, although they do have laws prohibiting

distracted driving (FindLaw, 2020). Most states forbid talking on a mobile phone and texting while driving, but the use of a smartwatch is not specifically prohibited (FindLaw, 2016). Since distracted driving is such a broad term, the legality of using a smartwatch while driving is open to the suggestive interpretation of the law officer witnessing the act.

As the use of mobile phones while driving is prohibited by law because of the distraction it creates, other similar devices, like the smartwatch, should be investigated in the same context. More specifically, it is worth exploring how the use of a smartwatch differs from other sources of distraction, such as a mobile phone or a voice assistant, on the attentional state and driving behavior.

To address this, a within-subject experiment was conducted on the effect of various types of notifications on a smartwatch and a smartphone in a driving simulator. Notifications were sent to 31 participants assigned to four conditions. In three of the four conditions, participants received notifications on a device (a mobile phone, a smartwatch, or a speaker), and then had to respond to those notifications vocally. In the fourth condition, they received written messages on either the mobile phone or the smartwatch, and then had to answer by texting on their phone.

2. LITERATURE REVIEW

People are distracted by a variety of things both inside and outside the vehicle. A study conducted in Northern Virginia reported that 23.4% of 16 556 drivers were multitasking while driving (Kidd et al., 2016). Some distractions are perceived as harmless, but even seemingly innocuous things, like listening to music, had drivers produce more miscalculations and inaccuracies than when driving without music (Brodsky and Slor, 2013). Research shows that drivers who interact with passengers look at the road less frequently (Koppel et al., 2011) and that drivers feel a higher mental workload (or cognitive workload) when eating and/or drinking while driving than if they were only driving (Young et al., 2008). Although there is no universally accepted definition of mental workload (Cain, 2007), it can be defined as “the portion of operator information processing capacity or resources that is actually required to meet system demands”, (Eggemeier et al. 1991).

Being distracted while driving is dangerous and can be fatal. In 2017, an estimated 9% of all deaths involving car accidents in the country were caused by distracted driving (NHTSA, 2019). Mobile phone use was the reason behind 14% of those casualties. Moreover, 19% of fatal accidents caused by distracted driving involved a mobile phone for people aged between 20 and 29, with that percentage rising to 23% for people aged between 15 and 19 (NHTSA, 2019).

Most literature on multitasking while driving revolves around the use of the mobile phone. Strayer and Drews (2007) affirm that talking on the mobile phone disrupts attention from the driving task and that those drivers are not as aware of the environment around them. A meta-analysis of 33 studies concludes that the reaction time is slower when talking on the phone than when not (Caird et al., 2008). Caird et al. (2014) performed another meta-analysis focused on texting while driving, which finds that drivers who were texting were glancing frequently and for lengthy periods of time away from the road, took more time to react to potential dangers and were not as aware of external stimuli than when driving without distraction. Moreover, drivers were implicated in more accidents and were not as comfortable staying in the middle of their lane.

Despite the use of a mobile phone hindering a person's ability to drive safely, studies found it happens quite frequently. A study examined whether drivers texted while driving in the 30 days before answering the survey and whether they read a text during those same 30 days : 33% of respondents wrote a text while 48% of them recalled having read one (Gliksch et al., 2016). Moreover, 45% of 8505 American high school students admitted to texting while driving at least once in the month before answering a survey (Olsen et al., 2013). Another more recent study found that 90% of the 469 respondents used their phone for something other than placing a phone call at least once in the month prior to answering the survey (Meldrum et al., 2019) meaning that efforts to reduce use of distracting technology while driving has not eradicated the problem.

Because smartwatches share a lot of functionalities with the modern phone (i.e., smartphone), it is relevant to find out how distracting it is in a driving environment, especially in comparison to a mobile phone.

A small number of studies have been conducted on the impact of smartwatch usage on driving. Giang et al. (2014) found, based on a small sample size ($n=6$), that participants started engaging with the device faster with a smartwatch than with a smartphone. They also took longer to read notifications and took more glances greater than 2 seconds on the smartwatch than on the mobile phone. Giang et al. (2015) also found, with a larger sample size ($n=12$), that people glanced, on average, more often on the smartwatch than on the smartphone. The gaze distribution (i.e., the distribution of where one is looking during periods of time) of the drivers was focused for a longer amount of time on the smartwatch than on the mobile phone. Break response time was longer when drivers received notifications on the smartwatch than when they received them on the smartphone, despite the perceived level of risk being similar for the two devices.

Samost et al. (2015) studied how people initiated a phone call with a smartphone using a visual-manual method (VM) and an auditory vocal method (AV) relative to a smartwatch using an auditory-vocal method (AV). Remote detection reaction time miss rate and reaction time were higher for the VM task than for other conditions. Driving behavior was more erratic for the VM task. The AV calling method for the phone and the smartwatch entailed lower cognitive workload than the VM task. Perlman et al. (2019) revisited the question a few years later, concluding that task time and number of glances were higher in the smartwatch condition than in the AV smartphone condition. The VM calling method measures were higher for self-reported workload ratings, mean single glance duration, percentage of long duration off-road glances, total off-road glance time, and percentage of time looking off-road.

He et al. (2014) compared speech based text entry with handheld text entry on a mobile phone and concluded that, although both affect driving significantly compared to a drive-only condition, handheld text entry was more distracting than speech based text entry. This study raises questions whether the same difference was found using different ways of receiving messages with speech-based text entry as the way to send messages. Handheld text entry using a smartwatch was not considered because of the small size of the device.

The goal of this research is to compare distraction caused by a mobile phone and a smartwatch in the way Giang et al. (2014; 2015) did : by sending notifications to both devices. The experiment also aims to replicate the results of Giang et al. (2014; 2015) using a larger sample size. The objective is also to extend their research by adding two other conditions to compare their levels of distraction : a condition simulating a vocal assistant where inbound messages are received through a speaker and a condition where outbound messages were sent manually. Samost et al.'s (2015) research on voice-activated command made us ponder on the level of distraction caused by inbound vocal messages inside a vehicle. Caird et al.'s (2014) meta-analysis on the distraction caused by texting and He et al.'s (2014) study on the distraction of speech-based and handheld text entry made us inquire about the level of distraction caused by outbound vocal and written messages. This experiment compares all of the above conditions in order to determine if there is a safer way to stay connected inside a vehicle while driving and to see which condition is the most dangerous for drivers.

Giang et al.'s (2014; 2015) research on glances to both the smartwatch and the smartphone suggest that driver's glance longer on a smartwatch when they receive messages than on a mobile phone in the same context. Samost et al.'s (2015) research on glances to devices with voice-activated commands reports that people glance more often on a smartwatch than on a mobile phone while initiating a phone call, although it is important to note that the scope of this study does not include the reception of messages on the devices. Caird et al.'s (2014) meta-analysis studying glances while texting and driving reported that drivers exhibited prolonged and more frequent glances off the road than when they were driving normally. Although a lot of research has been done on voice interaction inside a car while driving and its potential for distraction (McCallum et al., 2004 ; Baròn & Green, 2006), their studies aimed at measuring different tasks (destination entry, music selection, email processing, internet surfing, phone dialling) than those in this study. All of this research enables us to posit the following hypotheses, the first of which is a replication hypothesis while the other two are new hypotheses :

H1a: Gaze distribution is less focused on the driving task while receiving written notifications on a smartwatch than on a smartphone.

H1b: Gaze distribution is less focused on the driving task while receiving written notifications on a smartphone than when hearing them through a speaker.

H1c: Gaze distribution is less focused on the driving task when drivers must respond to written notifications by text instead of vocally.

Giang et al.'s (2014; 2015) research on break response time while receiving notifications on a smartwatch and a smartphone suggest that driver behavior is worse when the driver receives a message on a smartwatch than in the same context with a mobile phone. Perlman et al.'s (2019) research on driving behavior while interacting vocally with the devices reports that there was no difference between the auditory-vocal methods of initiating a phone call on a smartwatch and a mobile phone, but that they exhibited more erratic behavior when using the visual-manual method on the phone. However, that experiment only looked at the action of initiating a phone call and not the reception of notifications. He et al.'s (2014) study found that text entry with a speech-based cell phone was less harmful to driving performance than handheld text entry. Those studies enable us to posit these hypotheses, with the first and third ones being replication hypotheses and the second one being a new hypothesis :

H2a: Receiving written notifications on a smartwatch has more negative consequences on driving behavior than on a smartphone.

H2b: Receiving written notifications on a smartphone has more negative consequences on driving behavior than hearing them from a speaker.

H2c: Responding to written notifications by text has more negative consequences on driving behavior than vocally.

Perlman et al.'s (2019) use of heart rate and skin conductance measures made us wonder about the participant's mental workload during driving in different conditions. Since the scope of that study does not include notifications sent to devices, our first hypothesis is new. McCallum et al. (2004) studied cognitive workload on participants that were driving with a manual personal digital assistant and a vocal personal assistant and found that a vocal personal digital assistant and found that participants' cognitive workload was higher when they were interacting

with a manual personal digital assistant. However, the reception of notifications was not part of the scope of the study, which means that our second hypothesis is considered a new hypothesis. The third hypothesis is also a new hypothesis since answering notifications is not the same interaction than what was experimented in McCallum et al. (2004). Studies show that eye tracking measures are a reliable way to estimate mental workload (Palinko et al., March 2010; Marquart et al., 2015) and allow us to use eye tracking equipment to posit our last hypotheses :

H3a: Mental workload is higher while receiving written notifications on a smartwatch than on a smartphone inside a driving simulator.

H3b: Mental workload is higher while receiving written notifications on a smartphone than when receiving them vocally inside a driving simulator.

H3c: Mental workload is higher while responding to notifications by text than by responding orally to notifications inside a driving simulator.

An experimental research was set up to test these hypotheses.

3. METHOD

3.1 Experimental Design

A within-subject experiment was conducted with the notification medium as the main independent variable. There were four conditions: (1) the *Phone* condition where participants received and read notifications on their phone while driving inside a driving simulator; (2) the *Watch* condition, where they received and read notifications on a smartwatch; (3) the *Speaker* condition, where they received notifications vocally on the phone's speaker. In those three conditions, the participant had to either read out loud the notification or hear it from the speaker (in the *Speaker* condition). When the notification contained a question, they had to answer vocally . The fourth condition is (4) the *Texting* condition, where participants had to read out loud an incoming notification on the mobile phone or the smartwatch, and then had to respond by texting on their phone.

3.2 Sample and Procedure

Thirty-one participants aged between 18 and 47 years old (Mean = 25,61. SD = 6,24) were recruited. Sixteen of them were men. Every participant received monetary compensation in the form of a 30\$ gift card. Participants were recruited through the research panel of our institution. They were screened before the experiment for skin allergies, cardiac pacemakers, epilepsy, neurological and psychiatric diagnoses, and other diagnosed health problems. Participants were also screened for appropriate driving footwear, a valid driver's license, and motion sickness. The project was approved by the Ethics Committee of our institution. After filling out a consent form to take part in the study, participants were installed in the driving simulator for the experiment (see 3.3 Experimental Setup and Apparatus). They were then asked to fill out a questionnaire before starting the driving tasks.

Participants, while seated in the driving simulator, were subjected to a simple baseline task, termed the "vanilla" baseline condition (Jennings et al., 1992). Participants were then invited to practice in the driving simulator before the experiment. They started by driving inside the simulator while receiving notifications in order to understand the procedure during the upcoming experimental tasks. The order of the four tasks (or conditions) was randomized. In the Phone condition, participants received six notifications on the phone, which they had to read out loud. Two of those six notifications were statements and did not require answers (for instance, «Tom Hanks is an American actor»), two were questions requiring short answers (for instance, «What color are your eyes?»), and the last two were mathematical questions (for instance, « $5 \times 7 = ?$ »). These notification formats were used to include all types of notifications identified in Giang et al. (2015).

The content of notifications was randomized across the four conditions to avoid any bias. In the Watch condition, participants received six notifications, organized in the same way, but instead of receiving them on the mobile phone, they received them on the smartwatch. They also had to read out loud the notification and give an answer out loud if the notification required it. In the Speaker condition, participants received six notifications, again organized in the same way as in the above conditions but were not required to repeat them out loud. The questions were answered verbally. In the Texting condition, participants received six

notifications either on the phone or the watch. After reading them out loud, they were instructed to respond by text on the phone.

3.3 Experimental Setup and Apparatus

The experiment took place in a university laboratory. Lighting, humidity, and temperature were controlled inside the room. There were research assistants sitting on the other side of the room behind a one-way mirror with a microphone to communicate with the participant. Participants were sat in a Playseat Evolution Dirt Machine (Playseat, Doetinchem, Netherlands) gaming chair in front of three 28 inches ASUS (New Taipei, Taiwan) screens to give a more immersive experience. City Car Driving (Multisoft, Novosibirsk, Russia) (City Car Driving, 2020), a video game designed to help beginner drivers by making them drive in a realist open world environment with other drivers, pedestrians, and traffic regulations was used in this experiment. City Car driving is a software with realistic physics and with modern and high quality graphics that has been used in previous research using a driving simulation (Tran et al., 2017; Balters et al., 2018; Widyanti and Sutanto, 2017). Participants started every task at the same location in the middle of a virtual city, where the environment resembles a real-life city environment. Figure 1 below is a picture illustrating the three screen setup, the gaming chair, and the driving simulation software.



Figure 1 - Experimental setup

The smartwatch used for the experiment was an Apple Watch Series 3 38 mm (Apple, Cupertino, California) and the smartphone was an iPhone 6s plus (Apple, Cupertino, California) attached to a car phone holder, a legal way of using a mobile phone inside a vehicle. The messages were sent and received using the message application (iMessage) inside both the smartwatch and the smartphone. Only 9 out of the 31 participants were smartwatch users with only one of them who used it for over two years according to the questionnaire's results. Every participant was a smartphone user for at least the last 5 years.

Gaze distribution data was obtained using two cameras pointing at the participant's face for the duration of the experiment. Images were recorded using the Media Recorder Software (Noldus, Wageningen, Netherlands) and then transferred to the Observer XT software (Noldus, Wageningen, Netherlands) in order to combine information from both cameras and to properly synchronize the video images with the other measures. The exact moment at which notifications were sent to the devices was captured using Observer XT, as was the exact moment when participants were done answering. It also captured the moment participants pressed the *send* key after typing the answer to a notification for our analysis of the Texting condition.

The City Car Driving software records every road violation during a task. Road violation is a broad term that refers to a violation of traffic guidelines or normal standards of driving. This data was extracted directly from the software. The participant's driving speed was assessed in every condition throughout the entire experiment using a Python code, which took a screenshot of the participant's vehicle driving speed (in km/h) three to four times per second.

Eye tracking and pupillometry measures were recorded using SMI Eye Tracking Glasses 2 (SensoMotoric Instruments, Berlin, Germany), which the participants were wearing for the duration of the experiment.

3.4 Operationalization of research variables

Based on prior research (Giang et al., 2015; Perlman et al., 2019), a set of eye-tracking data was used to assess participants' gaze distribution. For every variable, the average result of each task (condition) was calculated for each participant.

Total Task Engagement Time (TTET) (Giang et al., 2015) is the duration of the task, from the moment participants receive a notification to the moment they have processed or answered it. It was calculated using the video recordings of the sessions, from the moment the notification of the inbound message was heard to the moment the subject finishes speaking or the moment they hit the «Send» key on the smartphone for the Texting condition. *Total glance duration per notification* (TGD) (Giang et al., 2015) is the amount of time a participant looks at the device after receiving a notification. If the participant looks at the device after the end of the task, it also counts as being a part of TGD for that notification until the subsequent notification is received on the device. Again, this measure was calculated using video recordings, where a glance is recorded every time the eye is captured looking away from the road. *Number of glances per notification* (NGN) (Giang et al., 2015) is the number of times a participant looks at the device after a notification is sent. Again, this measure was calculated using video recordings. *Average glance duration per notification* (AGD) (Giang et al., 2015) is the average amount of time a participant looks at his or her device per glance. *Percentage of Time off road* (TOR) (Perlman et al., 2019) calculates the percentage of time, from the moment the notification is sent to the device to the moment the participant stops speaking or presses the «Send» key for the texting condition, where the eyes of the participant are off the road. *Average Longest Single Glance* (LSG) (Perlman et al., 2019) is the single longest of every glance that a participant threw at the device for every notification received on the device. An average of every longest single glance was then calculated. Table 1 below summarizes each variable with its acronym :

Acronym	Variable
TTET	Total Task Engagement Time
TGD	Total Glance Duration Per Notification
NGN	Number of Glances Per Notification
AGD	Average Glance Duration Per Notification
TOR	Percentage of Time Off Road
LSG	Longest Single Glance

Table 1 - Gaze distribution variables and their acronyms

Of the seven gaze distribution variables, data showed that only one had a normal distribution (TOR). Data for 4 of the 6 variables left (TTET, TGT, NGN, LSG) was normalized by transforming the variables by the log of the variable + 1. For the last variable (AGD), it was transformed by the log of the variable*10 + 1. A repeated measures linear regression was then used to analyze pairwise comparison between each condition. Stata's *VCE Cluster* option was used to control for non-independence of observations.

Driving behavior was measured using various methods. Total Road violation data (Average=8.58; Standard Deviation=8.64) was transformed before the analysis in order to normalize it. A value of 0 was attributed to a task with 5 or fewer road violations. A value of 1 was attributed to tasks with six or more road violations. A Wilcoxon signed rank test was then used to analyze pairwise comparison between each condition. P-values were then adjusted for pairwise comparison between the four conditions using the method of Holm-Bonferroni (Kerby, 2014).

Speed metrics are some of the most commonly used metrics in driver behavior studies (Östlund et al., 2005). Studies suggest that drivers decrease their speed in order to cope with visual distraction (Patten et al., 2004). Driving speed per participant per experimental condition was calculated by averaging the speed on every screen shot that the driving speed data captured. Measuring the average acceleration and the standard deviation of the acceleration can also be used to indicate safe driving. Speed and acceleration profiles are known to affect fuel

consumption (André and Pronello, 1996). Moreover, longitudinal acceleration can be used as a measure of an unsafe or aggressive driving style (Vaiana et al., 2014). The acceleration formula ($a = \Delta v / \Delta t$) was used in order to calculate the acceleration. A numerical value for acceleration/deceleration was calculated every time a screenshot of the speed was taken, except for the first one. Average and Standard Deviation of acceleration were then calculated for each condition using a repeated measures linear regression to analyze pairwise comparison between each condition. Statistical tests indicated that speed and acceleration variables were normally distributed.

Hard braking is one of the three most prevalent types of risky behavior among drivers (Klauer et al., 2009). It usually means that the driver had to react instinctively to something in the environment because they were distracted, not paying attention or going too fast. Hard braking events were calculated using g-force. A g-force is a measure of acceleration in which 1G is equal to the acceleration humans feel due to the force of gravity (Deziel, 2018). On Earth, 1G is equal to $9,80665 \text{ m/s}^2$. This measure can be used to quantify any acceleration, not just when it applies to gravity. Researchers usually set the threshold for hard braking over 0.5G (Hill et al., 2019; Botzer et al., 2019). After converting acceleration from m/s to g-force, hard braking events were tallied in every task for every participant by counting how many times deceleration went over 0.5 g. Data from hard braking events was normalized by transforming the variable by the log of the variable*10 + 1. Speed, acceleration, and hard braking events were also calculated using a repeated measures linear regression to analyze pairwise comparison between each condition.

Three eye tracking measures were taken using the SMI Eye Tracking Glasses 2 (SensoMotoric Instruments, Berlin, Germany) in order to assess cognitive workload (Palinko et al., March 2010). Studies show that eye tracking inside a driving simulator is a reliable indicator of the drivers' cognitive workload estimation. Many measures can be used in eye tracking to calculate cognitive workload. Of those measures, blink duration is one that has been proven to decrease with increases in mental workload (Marquart et al., 2015). According to researchers, people might try to blink for a shorter amount of time in order to lose as little information as possible in tasks with higher cognitive load. Fixation duration is another measure

that increases with increased mental workload (Marquart et al., 2015). For the same reason blink duration decreases with higher workload, drivers seem to fixate longer during tasks demanding higher concentration. Also, pupil diameter is often looked at in order to estimate mental workload, especially in the driving simulator environment (Marquart et al., 2015). Similar to fixation duration, pupil diameter increases with increased mental workload. Average and standard deviation of blink duration, fixation duration and pupil diameter were calculated for every participant through all four conditions. Of those six measures, two were transformed for normalization. Standard deviation of Blink Duration was normalized by transforming the variables by the log of the variable + 1 and Standard deviation of Pupil diameter was normalized by transforming the variable by the log of the variable*100 + 1.

4. RESULTS AND ANALYSIS

4.1 Gaze distribution (H1)

Table 2 summarizes the results for the average of every gaze distribution measure for all four conditions. The last six columns show significance values for pairwise post hoc comparisons between each task. A repeated measures linear regression was used to analyze pairwise comparison between each condition. Table 1 above summarizes all of the variable acronyms and what they stand for.

Dependant variable	Phone (P)	Watch (W)	Speaker (S)	Texting (T)	P vs W p-value	P vs S p-value	P vs T p-value	W vs S p-value	W vs T p-value	S vs T p-value
(I)TTET ¹	2.05	2.30	2.07	3.08	0.000	0,748	0.000	0.000	0.000	0.000
(I)TGD ¹	0.99	1.23	0.42	2.39	0.030	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000
(I) NGN ¹	0.98	1.19	0.45	2.06	0.035	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000
(Id) AGD ²	2.41	2.46	1.28	2.75	0.034	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOR	0.28	0.30	0.11	0.50	0.015	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000
(I) LSG ¹	0.78	0.86	0.38	1.35	0.019	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000

¹(I): Data was normalized using $\ln(\text{DependantVariable} + 1)$

²(Id): Data was normalized using $\ln(10 * \text{DependantVariable} + 1)$

Table 2 - Gaze distribution results and pairwise comparisons

For *TTET (Total Task Engagement Time)*, there is no statistically significant difference between the Phone and the Speaker conditions. The Watch condition took significantly more time on average than the Phone and Speaker conditions ($p < 0.000$). Moreover, the texting condition was significantly higher than all three other conditions ($p < 0.000$).

TGD (Total Glance Duration per notification) is the lowest on average in the Speaker condition ($p < 0.000$). The Phone condition has higher *TGD* than the Speaker condition followed by the Watch condition ($p = 0.030$), which is higher than both. The Texting condition has the highest *TGD* on average ($p < 0.000$). *TGD* is statistically different through all conditions.

NGN (Number of Glances per Notification) is a lot lower in the Speaker condition than in the other conditions ($p < 0.000$). *NGN* is also higher on the Watch condition than the Phone condition ($p = 0.035$). Participants understandably look at the device on average a lot more in the Texting condition ($p < 0.000$). Again, the difference between the averages of every condition is statistically significant.

AGD (Average Glance Duration per notification) is a lot lower in the Speaker condition than in the others ($p < 0.000$), followed by the Phone condition ($p < 0.000$). The Watch condition saw a slightly higher *AGD* than the Phone condition ($p = 0.034$), and the Texting condition had the highest ($p < 0.000$). The difference between the averages of every condition is statistically significant.

On average, *TOR (Percentage of Time Off Road)* is the lowest during the Speaker condition ($p < 0.000$). It is higher for the Watch condition than the Phone condition ($p = 0.015$). The Texting condition has the highest *TOR* ($p < 0.000$). The difference between the averages of every condition is statistically significant.

The Speaker condition has the lowest average for *LSG (Longest Single Glance)* ($p < 0.000$) followed by the Phone condition. The Watch condition is higher than the first two ($p < 0.000$) ($p = 0.019$) and, as usual, the Texting condition has the highest *LSG* ($p < 0.000$). The difference between the averages of every condition is, once again, statistically significant.

Taken together, gaze distribution was focused on the device more frequently and for the longest amount of time in the Texting condition. Participants were also looking at the device longer and more frequently in the Watch condition than in the Phone condition which provides support to H1a, although not as much and as long as in the Texting condition, which provides support to H1c. Participants looked less frequently and for shorter periods of time at their device in the Speaker condition than in the other three which provides support to H1b. Overall, these results provide support to H1a, H1b, and H1c.

4.2 Driving behavior results (H2)

Results for the average number of road violations per condition are summarized in Table 3. The last six columns show significance values for pairwise post hoc comparisons between each task. A Wilcoxon signed rank test was then used for pairwise comparisons.

Dependant variable	Phone (P)	Watch (W)	Speaker (S)	Texting (T)	P vs W p-value	P vs S p-value	P vs T p-value	W vs S p-value	W vs T p-value	S vs T p-value
Total Road violations	6.97	6.71	7.13	13.52	0.751	0.933	0.000	0.637	0.000	0.002

Table 3 - Road violations results and pairwise comparisons

Results show statistical differences in the average number of violations between the Phone condition and the Texting condition ($p < 0.000$), between the Watch condition and the Texting condition ($p < 0.000$) and between the Speaker condition

and the Texting condition ($p = 0.002$) with the Texting condition being higher than in the three other conditions. Differences were not significant between the other conditions.

Table 4 summarizes the results for the five driving behavior measures (Average and Standard Deviation of Speed, Average and Standard Deviation of Acceleration, Hard Braking Events) per condition. The last six columns show significance values for pairwise post hoc comparisons between conditions. A repeated measure linear regression was used to analyze pairwise comparison between each condition.

Dependant variable	Phone (P)	Watch (W)	Speaker (S)	Texting (T)	P vs W p-value	P vs S p-value	P vs T p-value	W vs S p-value	W vs T p-value	S vs T p-value
Average Speed	8.87	8.79	9.04	8.95	0.848	0.755	0.871	0.658	0.716	0.827
StdDev Speed	5.58	5.77	5.96	5.89	0.288	0.146	0.237	0.399	0.537	0.760
Average Acceleration	0.03	0.03	0.04	0.03	0.380	0.715	0.449	0.130	0.802	0.236
StdDev Acceleration	1.31	1.24	1.34	1.29	0.054	0.458	0.679	0.019	0.144	0.354
(ld)HardBraking Event ¹	1.42	1.43	1.46	1.69	0.868	0.722	0.017	0.838	0.037	0.058

¹(ld): Data was normalized using $\ln(10 * \text{DependantVariable} + 1)$

Table 4 - Telemetry data results and pairwise comparisons

Results suggest that for average speed and standard deviation of speed there was no significant difference between conditions. Results also suggest that for average acceleration and standard deviation of speed, the only significant difference was between the standard deviation of the Watch and Speaker conditions: it was higher for the speaker condition ($p = 0.019$).

For hard-breaking behaviors, Table 4 shows that there was a statistically significant difference between two pairs of conditions. The Texting condition has a higher average of hard braking events than both the Phone ($p = 0.017$) and the Watch conditions ($p = 0.037$), suggesting that participants were driving more dangerously in Texting condition than in the other two conditions.

Because of the statistically significant difference between the Texting condition and each of the other three conditions for road violations and the statistically significant

difference between the Texting condition and both the Watch and the Phone conditions in Hard Braking events, H2c is supported. Participants' driving behavior was impeded while answering notifications through text. Since no statistically significant difference was found between any other conditions in almost every measure (except for Standard deviation of Acceleration between the Watch and Speaker conditions), H2a and H2b are not supported.

4.3- Cognitive workload(H3)

Table 5 summarizes the results for the six eye tracking measures (Average and Standard Deviation of Blink Duration, Average and Standard Deviation of Fixation Duration, Average and Standard Deviation of Pupil Diameter) per condition. Predicted values for every variable through all four tasks were generated by subtracting results from the earlier baseline condition to those of the four conditions. The last six columns show significance values for pairwise post hoc comparisons between conditions. A repeated measure linear regression was used to analyze pairwise comparison between each condition.

Dependant variable	Phone (P)	Watch (W)	Speaker (S)	Texting (T)	P vs W p-value	P vs S p-value	P vs T p-value	W vs S p-value	W vs T p-value	S vs T p-value
Average Blink Duration	-313.84	-309,33	-316,69	-312,64	0.487	0.700	0.874	0.409	0.720	0.600
(l) Std Dev Blink Duration ¹	4.29	4.21	4.23	4.35	0.329	0.388	0.276	0.873	0.123	0.109
Average Fixation Duration	-162.24	-160.61	-156.20	-181.25	0.785	0.343	0.039	0.526	0.027	0.004
Std Dev Fixation Duration	383.83	381.83	375.41	352.69	0.889	0.514	0.134	0.637	0.130	0.274
Average Pupil Diameter	0.61	0.58	0.59	0.75	0.192	0.440	0.165	0.751	0.080	0.105
(ld) Std Dev Pupil Diameter ²	3.44	3.67	3.56	3.72	0.007	0.038	0.013	0.056	0.412	0.068

¹(l): Data was normalized using $\ln(\text{DependantVariable} + 1)$
²(ld): Data was normalized using $\ln(100 * \text{DependantVariable} + 1)$

Table 5 - Eye tracking / Pupillometry results and pairwise comparisons

Results show that average fixation duration is lower for the Texting condition than all three other conditions. Since drivers fixated for shorter amounts of time during the Texting condition, it would mean that participants were exposed to lower mental

workload in that condition than in the other three, although this might be a result of an increased number of glances on the device during the Texting condition. Results also show that Standard deviation of the pupil diameter is smaller in the Phone condition than in the other three, which means that the spread of the data is closer to the mean than in the other conditions. No other statistically significant results were found.

Standard deviation of the pupil diameter is lower in the Phone condition than in the Watch Condition, but since no other statistical difference can be found, H3a cannot be supported. No difference can be found between the Phone and the Speaker condition either, other than standard deviation of the pupil diameter, which means that H3b is not supported either. Average fixation duration is lower in the Texting condition than in the other three conditions. Since H3c posits higher mental workload in the Texting condition, H3c is not supported.

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

Results support hypotheses H1a, H1b and H1c, which posit that gaze distribution is less focused on the driving task while receiving written notifications on a smartwatch than on a smartphone, that it is less focused on the driving task while receiving written notifications on a smartphone than when hearing them through a speaker and that it is less focused on the driving task when drivers have to respond to written notifications by text instead of vocally. However, results of the experiment do not support H2a and H2b, which respectively posit that receiving written notifications on a smartwatch has more negative consequences on driving behavior than on a smartphone and that receiving written notifications on a smartphone has more negative consequences on driving behavior than hearing them from a speaker. Moreover, results support H2c, which posits that responding to written notifications by text has more negative consequences on driving behavior than vocally. Results did not support the other three hypotheses, H3a, H3b and H3c, which respectively posit that mental workload is higher while receiving written notifications on a smartwatch than on a smartphone inside a driving simulator, that mental workload is higher while receiving written notifications on a smartphone

than when receiving them vocally inside a driving simulator and that mental workload is higher while responding to notifications by text than by responding orally to notifications inside a driving simulator, were not supported.

These results make three contributions to road safety research. To our knowledge, little research was done on the impact of the smartwatch while driving. Of those studies, only Giang et al.'s (2014; 2015) two experiments examined the impact of notifications on both the smartwatch and the smartphone, but with smaller sample size ($n=6$ and $n=12$). Samost et al. (2015) and Perlman et al. (2019) compared the two devices, but instead of examining notifications sent to the device, they looked at how people made calls from those devices. Our first contribution extends the work of Giang et al. (2014 ; 2015) by examining notifications on both devices, but with a larger sample size.

Comparisons between the two types of notifications mentioned above and the other two types in this study (notification import on a speaker and manual text entry as an answer to a notification) constitute our second contribution. The objective of this experiment was to see if those other types of communication inside a vehicle were as distracting as the notifications sent in Giang et al.'s research (2015). Giang et al. (2014; 2015) examined both types of notification exports in both their studies but did not compare them with one another. He et al. (2014) compared speech based text entry with manual text entry, but they only used a mobile phone to make that comparison. It is interesting to see where the smartwatch falls in those comparisons that have already been made.

Adding measures that are different from other studies on the impact of using a smartwatch while driving for driving behavior and mental workload constitute our third contribution. Driving behavior measures were different from other studies about smartwatches and distracted driving. Giang et al. (2014; 2015) measured break response time. Samost et al. (2015) and Perlman et al. (2019) looked at lane position, steering wheel reversals and speed as well as a remote detection response task that was more about detecting environmental stimuli. This experiment was concentrated on speed, acceleration, hard braking events, and number of road violations. Perlman et al. (2019) used heart rate and skin conductance measures, but no studies done on the impact of the smartwatch

measured mental workload using eye tracking or pupillometry. Those measures were used in our study to give a more complete picture of the impact of the four conditions while driving.

Our results have implications for policy makers. Even if interacting with a smartwatch might be considered an act of distracted driving, which is illegal in most states (FindLaw, 2016), there is still enough left to interpretation. More clarity is needed regarding the use of a smartwatch while driving, and since research is a key point in evaluating technology and distraction level (CCMTA, 2018), we believe this study can be taken into consideration in regards to road safety regulation. Public or private insurance companies can also benefit from a clearer view of the smartwatch's impact on driving and make use of the above conclusions to inform drivers of the risks involved in driving with a smartwatch with targeted advertising. The present research supports the importance of considering the smartwatch as a distraction during driving.

Limitations of the study must be acknowledged. There was no baseline condition for driving in the study. Further research is needed to integrate a baseline condition without notifications in order to compare the conditions to normal driving without any distraction. To study all types of notifications seen in both Giang et al.'s studies (2014; 2015), we experimented with three different types of notifications, although we did not look at the difference in between them. One of our measures of mental workload, fixation duration, saw a difference between the Texting condition and the other three conditions. Since fixation duration was lower in that condition, that would entail lower mental workload, although this does not account for the higher number of glances to the device in the Texting condition. Further research should be aware of this before using fixation duration as a measure. The experiment used a specific smartwatch and a specific smartphone. More research should be done using different devices in order to confirm or deny the results of this study. Moreover, hard braking events, speed, acceleration and road violations were used as measures of driving behavior. More driving measures could be added to a future study to get a better overall view of driving behavior. Another avenue to explore in the future would be to conduct new experiments in a few years, when people will be more acquainted with the smartwatch the way they are acquainted with the mobile phone today.

The smartwatch is a potential new source of distraction while driving. Participants look at their device more often while receiving messages on a smartwatch compared to when they receive them on a mobile phone. Also, participants are less distracted by messages when they hear them than when they read them. Furthermore, answering messages while driving is forbidden, but answering vocally to messages is a better alternative than answering through text. Drivers can reduce distractions by having incoming messages read through speakers and outbound messages orally dictated, instead of reading them on their devices and texting back in their reply. This will help make the roads safer for all.

REFERENCES

André, M., & Pronello, C. (1996). *Speed and acceleration impact on pollutant emissions* (No. 961113). SAE Technical Paper.

Balters, S., Murnane, E. L., Landay, J. A., & Paredes, P. E. (2018, May). Breath Booster! Exploring In-car, Fast-paced Breathing Interventions to Enhance Driver Arousal State. In *Proceedings of the 12th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 128-137).

Barón, A., & Green, P. (2006). Safety and Usability of Speech Interfaces for In-Vehicle Tasks while Driving: A Brief Literature Review. Technical Report UMTRI.

Botzer, A., Musicant, O., & Mama, Y. (2019). Relationship between hazard-perception-test scores and proportion of hard-braking events during on-road driving—An investigation using a range of thresholds for hard-braking. *Accident Analysis & Prevention*, *132*, 105267.

Brodsky, W., & Slor, Z. (2013). Background music as a risk factor for distraction among young-novice drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *59*, 382-393.

Cain, B. (2007). A review of the mental workload literature. Defence Research And Development Toronto (Canada).

Caird, J. K., Johnston, K. A., Willness, C. R., Asbridge, M., & Steel, P. (2014). A meta-analysis of the effects of texting on driving. *Accident Analysis & Prevention*, 71, 311-318.

Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P., & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1282-1293.

Canadian Council of Motor Transport Administrators (CCMTA) (2018), Livre blanc sur la distraction au volant, CCMTA, https://ccmta.ca/images/publications/pdf/PDF%20FRENCH/CCMTA_Distracting_Driving_White_Paper_-_Revised_December_2018_-_French.pdf

City Car Driving (2020), City Car Driving - Car Simulator, PC Game. *City Car Driving*, <https://citycardriving.com/>

Deziel, C. (2018), How to convert Newtons to G-Force, *Sciencing* <https://sciencing.com/convert-newtons-gforce-8720337.html>

Eggemeier, F. T., Wilson, G. F., Kramer, A. F., & Damos, D. L. (1991). Workload assessment in multi-task environments. Multiple-task performance, 207-216.

FindLaw (2016), Distracted Driving. *FindLaw*, <https://traffic.findlaw.com/traffic-tickets/distracted-driving.html>

FindLaw (2020), State Traffic Law. *FindLaw*, <https://traffic.findlaw.com/traffic-tickets/state-traffic-laws.html>

Giang, W. C., Hoekstra-Atwood, L., & Donmez, B. (2014, September). Driver engagement in notifications: a comparison of visual-manual interaction between

smartwatches and smartphones. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 58, No. 1, pp. 2161-2165). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Giang, W. C., Shanti, I., Chen, H. Y. W., Zhou, A., & Donmez, B. (2015, September). Smartwatches vs. smartphones: A preliminary report of driver behavior and perceived risk while responding to notifications. In *Proceedings of the 7th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 154-161).

Gliklich, E., Guo, R., & Bergmark, R. W. (2016). Texting while driving: A study of 1211 U.S. adults with the Distracted Driving Survey. *Preventive medicine reports*, 4, 486-489.

He, J., Chaparro, A., Nguyen, B., Burge, R. J., Crandall, J., Chaparro, B., ... & Cao, S. (2014). Texting while driving: Is speech-based text entry less risky than handheld text entry?. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 287-295.

Hill, A., Horswill, M. S., Whiting, J., & Watson, M. O. (2019). Computer-based hazard perception test scores are associated with the frequency of heavy braking in everyday driving. *Accident Analysis & Prevention*, 122, 207-214.

Jennings, J. R., Kamarck, T., Stewart, C., Eddy, M., & Johnson, P. (1992). Alternate cardiovascular baseline assessment techniques: Vanilla or resting baseline. *Psychophysiology*, 29(6), 742-750.

Kerby, D. S. (2014). The simple difference formula: An approach to teaching nonparametric correlation. *Comprehensive Psychology*, 3, 11-IT.

Kidd, D. G., Tison, J., Chaudhary, N. K., McCartt, A. T., & Casanova-Powell, T. D. (2016). The influence of roadway situation, other contextual factors, and driver characteristics on the prevalence of driver secondary behaviors. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 41, 1-9.

Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J. D., & Ramsey, D. J. (2009). *Comparing real-world behaviors of drivers with high versus low rates of crashes and near crashes* (No. DOT-HS-811-091).

Koppel, S., Charlton, J., Kopinathan, C., & Taranto, D. (2011). Are child occupants a significant source of driving distraction?. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1236-1244.

Lamkin, P. (2018) Smartwatches To Dominate Wearable Tech - Double Digit Growth Forecast For Industry, *Forbes*,
<https://www.forbes.com/sites/paullamkin/2018/12/19/smartwatches-to-dominate-wearable-tech-double-digit-growth-forecast-for-industry/#6bf5c4eb1a4b>

Marquart, G., Cabrall, C., & de Winter, J. (2015). Review of eye-related measures of drivers' mental workload. *Procedia Manufacturing*, 3, 2854-2861.

McCallum, M. C., Campbell, J. L., Richman, J. B., Brown, J. L., & Wiese, E. (2004). Speech recognition and in-vehicle telematics devices: Potential reductions in driver distraction. *International Journal of Speech Technology*, 7(1), 25-33.

Meldrum, R. C., Boman, J. H., & Back, S. (2019). Low self-control, social learning, and texting while driving. *American journal of criminal justice*, 44(2), 191-210.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), (2019) Traffic safety facts: distracted driving in fatal crashes, 2017. *NHTSA, Washington, DC, Report No. DOT-HS812-700*.

Olsen, E. O. M., Shults, R. A., & Eaton, D. K. (2013). Texting while driving and other risky motor vehicle behaviors among U.S. high school students. *Pediatrics*, 131(6), e1708-e1715.

Östlund, J., Peters, B., Thorslund, B., Engström, J., Markkula, G., Keinath, A., ... & Foehl, U. (2005). Driving performance assessment-methods and metrics. *EU Deliverable, Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface Project (AIDE)*.

Palinko, O., Kun, A. L., Shyrov, A., & Heeman, P. (2010, March). Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In *Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research & applications* (pp. 141-144).

Patten, C. J., Kircher, A., Östlund, J., & Nilsson, L. (2004). Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident analysis & prevention, 36*(3), 341-350.

Perlman, D., Samost, A., Domel, A. G., Mehler, B., Dobres, J., & Reimer, B. (2019). The relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. *Applied ergonomics, 75*, 8-16.

PR Newswire (2019), World Market for Wearable Devices, Set to Reach \$62.82 Billion by 2025 - Increasing Penetration of IoT & Related Devices Drives Market Growth, *Cision PR Newswire*, <https://www.prnewswire.com/news-releases/world-market-for-wearable-devices-set-to-reach-62-82-billion-by-2025---increasing-penetration-of-iot--related-devices-drives-market-growth-300974593.html>

Samost, A., Perlman, D., Domel, A. G., Reimer, B., Mehler, B., Mehler, A., ... & McWilliams, T. (2015, September). Comparing the relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 59, No. 1, pp. 1602-1606). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Statista (2019), Number of wearable users in the U.S., *Statista*, <https://www.statista.com/statistics/543070/number-of-wearable-users-in-the-us/>

Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2007). Cell-phone–induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, 16(3), 128-131.

Tran, C. C., Yan, S., Habiyaremye, J. L., & Wei, Y. (2017, December). Predicting driver's work performance in driving simulator based on physiological indices. In *International Conference on Intelligent Human Computer Interaction* (pp. 150-162). Springer, Cham.

Vaiana, R., Luele, T., Astarita, V., Caruso, M. V., Tassitani, A., Zaffino, C., & Giofrè, V. P. (2014). Driving behavior and traffic safety: an acceleration-based safety evaluation procedure for smartphones. *Modern Applied Science*, 8(1), 88.

Widyanti, A., & Sutanto, F. (2017). Correlation between Type-A Personality and Risky Driving Behavior. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(13), 3362-3366.

Whitwam, R. (2019), 1 in 6 U.S. Adults Now Own a Smartwatch, *ExtremeTech*, <https://www.extremetech.com/mobile/285724-1-in-6-us-adults-now-own-a-smartwatch>

Wurmser, Y. (2019), Wearables 2019, *eMarketer*. <https://www.emarketer.com/content/wearables-2019>

Young, M. S., Mahfoud, J. M., Walker, G. H., Jenkins, D. P., & Stanton, N. A. (2008). Crash dieting: The effects of eating and drinking on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 142-148.

Conclusion

Ce mémoire avait plusieurs objectifs. Le premier objectif était de découvrir si la montre intelligente était plus distrayante que le téléphone intelligent dans un contexte de conduite automobile. Notre deuxième objectif était de découvrir si une notification envoyée par texte était plus distrayante qu'une notification envoyée par audio dans un contexte de conduite automobile. Finalement, le troisième objectif de ce mémoire par article était de découvrir si la saisie de texte manuelle était plus distrayante que la saisie de texte vocale, encore une fois dans un contexte de conduite automobile. Ce mémoire a donc permis de comprendre un peu mieux la distraction que posent certains dispositifs au volant utilisés de plusieurs manières.

Une expérience a été menée en laboratoire à l'été 2019 pour tenter d'atteindre ces objectifs. L'expérience a accueilli 31 participants âgés de 18 à 47 ans (Moyenne = 25,61, Écart type = 6.24) du 2 au 22 juillet 2019. 15 d'entre eux s'étaient identifiés comme étant des femmes alors que 16 d'entre eux s'étaient identifiés comme étant des hommes. Lors de l'expérience, les participants ont été exposés à quatre conditions randomisées. Dans l'une des conditions, ils recevaient un message écrit qu'ils devaient lire à voix haute sur un téléphone mobile. Ils devaient ensuite répondre à voix haute au message. Dans une autre condition, ils devaient recevoir un message écrit sur la montre intelligente qu'ils devaient répéter et auquel ils devaient répondre à voix haute. Les participants recevaient, dans une autre condition, des messages auditifs sur le haut-parleur du téléphone mobile. Ils devaient répondre, comme dans les deux autres conditions, à voix haute. Finalement, les participants recevaient des messages écrits sur le téléphone mobile dans la dernière condition. Ils devaient cependant y répondre par écrit à l'aide de l'application de messagerie du téléphone mobile. L'expérience des utilisateurs a été mesurée durant l'expérience avec plusieurs outils et mesures. En premier lieu, le parcours oculaire des participants fut observé à l'intérieur de la simulation de conduite grâce à deux caméras braquées sur le visage des participants. Ensuite, leurs performances de conduite furent mesurées à l'aide de fonctionnalités comprises à l'intérieur de la simulation de conduite ainsi qu'à un code Python enregistrant la vitesse des participants plusieurs fois par seconde,

nous permettant ainsi de comptabiliser la vitesse, l'accélération et les événements de freinage brusque. Finalement, des mesures d'oculométrie et de pupillométrie ont été enregistrées à l'aide des lunettes oculométriques SMI Eye Tracking Glasses 2. À la suite de leur participation à l'expérience, les participants ont reçu une carte cadeau COOP HEC d'une valeur de 30 \$. Cette expérience et les résultats qui en découlent ont permis l'écriture de l'article scientifique inclus dans ce mémoire.

Ce chapitre comprend un rappel des questions de recherche de l'étude et des principaux résultats qui ont été analysés à la suite de l'expérience mentionnée au-dessus. Les contributions théoriques et les implications pratiques des conclusions de l'étude seront ensuite présentées. Finalement, les limites de l'étude ainsi que les pistes à explorer pour les recherches futures dans le domaine seront abordées.

Rappel des questions de recherche et des hypothèses

Avant de débiter l'expérimentation, quelques questions de recherches ont été rédigées par l'auteur de ce mémoire et ses co-directeurs de recherche pour bien cerner les éléments qui devaient être mesurés au cours de l'expérimentation. Le but de ces questions de recherche était de mesurer la distraction entre les différentes conditions présentes dans l'expérience. Les questions de recherche de ce mémoire sont donc les suivantes :

Q1 : Est-ce que la réception de messages par écrit sur le téléphone mobile est plus distrayante que la réception de messages par écrit sur la montre intelligente ?

Q2 : Est-ce que la réception de messages par écrit sur un appareil électronique est plus distrayante que la réception de messages par assistant vocal ?

Q3 : Est-ce que l'envoi de messages par texto est plus distrayant que l'envoi de message par saisie de texte vocale ?

Après l'élaboration de ces questions de recherche ainsi que l'analyse des moyens dont nous disposons pour arriver à mesurer la distraction, trois hypothèses et neuf sous-hypothèses ont été postulées. Les trois premières sous hypothèses concernent le parcours oculaire des participants :

H1a : Le parcours oculaire du conducteur automobile est moins souvent concentré sur la tâche de conduite lorsqu'il reçoit des notifications écrites sur une montre intelligente que lorsqu'il en reçoit sur un téléphone mobile.

H1b : Le parcours oculaire du conducteur automobile est moins souvent concentré sur la tâche de conduite lorsqu'il reçoit des notifications écrites sur un téléphone mobile que lorsqu'il reçoit des notifications auditives sur un haut-parleur.

H1c : Le parcours oculaire du conducteur automobile est moins souvent concentré sur la tâche de conduite lorsqu'il doit répondre aux notifications par saisie de texte manuelle que par saisie de texte vocale.

Les trois prochaines sous-hypothèses concernent les performances de conduite automobile des participants :

H2a : Recevoir des notifications écrites sur une montre intelligente mène à plus de conséquences négatives sur la conduite automobile que de recevoir des notifications écrites sur un téléphone mobile.

H2b : Recevoir des notifications écrites sur un téléphone mobile mène à plus de conséquences négatives sur la conduite automobile que de recevoir des notifications auditives sur un haut-parleur.

H2c : Répondre à des notifications écrites par saisie de texte manuelle mène à plus de conséquences négatives sur la conduite automobile que de répondre par saisie de texte vocale.

Les trois dernières sous-hypothèses concernent la charge cognitive des participants, mesurée à l'aide de l'oculométrie et de la pupillométrie :

H3a : La charge cognitive du conducteur automobile est plus élevée à la réception de notifications écrites sur une montre intelligente qu'à la réception de notifications écrites sur un téléphone mobile.

H3b : La charge cognitive du conducteur automobile est plus élevée à la réception de notifications écrites sur un téléphone mobile qu'à la réception de notifications auditives sur un haut-parleur.

H3c : La charge cognitive du conducteur automobile est plus élevée lors d'une saisie de texte manuelle que lors d'une saisie de texte vocale.

Principaux résultats

L'analyse du parcours oculaire des participants nous a permis de conclure que le participant était plus distrait dans la condition où il recevait des notifications écrites sur la montre intelligente que lorsqu'il en recevait sur le téléphone intelligent, supportant ainsi l'hypothèse H1a. L'expérience nous a également permis de supporter l'hypothèse H1b, puisque le parcours oculaire des participants était moins souvent concentré sur la tâche de conduite lorsque celui-ci recevait des notifications écrites sur le téléphone mobile que lorsqu'il recevait des notifications auditives sur un haut-parleur. L'hypothèse H1c, quant à elle, est également supportée, puisque le parcours oculaire des participants était moins souvent concentré sur la route lorsqu'il répond à des notifications par saisie de texte manuelle que par saisie de texte vocale.

L'analyse de la performance de conduite des participants permet également de résoudre certaines de nos hypothèses. Les hypothèses H2a et H2b ont malheureusement dû être rejetées, puisqu'aucune différence n'a pu être trouvée entre les conditions de la montre intelligente, du téléphone mobile et du haut-parleur pour nos résultats de comportement de conduite. Cependant, les participants ont porté plus d'infractions au Code de la route et ont freiné plus abruptement lorsqu'ils devaient répondre aux notifications par saisie de texte manuelle que par saisie de texte vocale, ce qui nous a permis de supporter l'hypothèse H2c.

Finalement, l'analyse des variables d'oculométrie et de pupillométrie permet de résoudre les hypothèses en lien avec la charge cognitive. Malheureusement, aucune des variables ne permet de supporter avec certitude les hypothèses H3a, H3b et H3c. Les quelques différences observées n'étaient pas suffisantes pour supporter les hypothèses et dire avec conviction que la charge mentale des conducteurs était plus élevée dans l'une ou l'autre des conditions.

Contributions de l'étude

Contributions théoriques

Dans un premier temps, notre recherche permet d'ajouter à la littérature très peu étoffée sur la distraction qu'impose la montre intelligente en contexte de conduite automobile. Deux études ont examiné l'impact de la réception d'une notification sur la montre intelligente en simulateur automobile (Giang et. al, 2014 ; Giang et. al, 2015). Ces études comparent la montre intelligente avec le téléphone mobile, mais elles le faisaient avec des échantillons de 6 personnes et de 12 personnes respectivement. Les études de Samost et. al (2015) et de Perlman et. al (2019) comparent également le téléphone et la montre, mais pas en termes de réception de notifications. En effet, les deux études évaluent l'action de faire un appel à partir des deux dispositifs. L'étude sur laquelle est basé ce mémoire permet non seulement de comparer la distraction de la montre intelligente à celle du téléphone intelligent, mais elle permet également d'ajouter des conditions de réception de notifications auditives et de saisie de texte manuelle en réponse à ces notifications. Les six comparaisons entre les quatre conditions nous permettent ainsi d'en savoir plus sur la distraction au volant et de découvrir la façon de recevoir et d'envoyer des notifications permettant aux utilisateurs de la route de circuler de manière plus sécuritaire.

Les études sur la montre intelligente présentes dans la littérature n'utilisent pas non plus de pupillométrie ou d'oculométrie pour mesurer la charge cognitive des participants à l'intérieur de leurs expériences. Même si nos résultats n'étaient pas assez différents pour conclure qu'une condition était plus ou moins distrayante qu'une autre, l'étude apporte comme contribution théorique que la charge cognitive ne change pas peu importe de quelle façon on reçoit ou on envoie une notification.

Implications pratiques

Les résultats de l'étude supportent la considération de la montre intelligente comme distraction au volant. Le Code de la route au Québec n'est pas très clair quant à l'utilisation de la montre intelligente. Elle n'est jamais mentionnée spécifiquement et ne serait illégale qu'en contexte d'interaction au volant (SAAQ, 2020). Considérer la montre intelligente comme une distraction au volant, au même titre que le téléphone mobile, permettrait ainsi aux forces de l'ordre d'agir

sans devoir interpréter le Code de la route à leur façon, ce qui diminuerait ensuite le nombre d'interactions au volant avec la montre intelligente par leurs utilisateurs. Conséquemment, les routes seraient plus sécuritaires puisque les conducteurs automobiles seront moins distraits et plus concentrés sur la tâche de conduite.

Les résultats obtenus lors de l'expérience permettent également aux compagnies d'assurances qui vont bénéficier d'une vue d'ensemble plus claire des dangers de plusieurs manières de recevoir et d'envoyer des notifications à l'intérieur d'un véhicule. Plus spécifiquement, ils pourraient ajuster leurs primes par rapport aux utilisateurs de la montre intelligente et informer la population des risques que peut causer son utilisation au volant.

Limites et pistes de recherches futures

L'expérimentation conduite dans le cadre de ce mémoire doit considérer certaines limites. Premièrement, il n'y avait pas de condition dite « baseline » où les participants conduisaient dans la simulation sans recevoir de notifications du tout. Plusieurs autres recherches sur le sujet utilisaient une condition où le participant ne faisait que conduire à travers la simulation pour comparer l'effet de la montre intelligente ou du téléphone mobile sur la conduite automobile à la conduite sans distraction. Une prochaine étude sur le sujet pourrait comparer les conditions utilisées dans notre étude avec une condition sans notifications pour mieux comprendre l'effet des différentes distractions en comparaison avec la conduite normale d'un véhicule.

Une autre des limites de l'expérience concerne le contenu des notifications. Pour tester tous les types de notifications envoyées dans les études de Giang et. al (2014 ; 2015), nous avons envoyé six notifications par conditions : deux déclarations ne nécessitant pas de réponse, deux questions nécessitant une réponse ainsi que deux équations mathématiques. Cependant, nous n'avons pas cherché à comparer ces réponses entre elles. Une comparaison plus rigoureuse entre les notifications permettrait certainement de jeter un regard plus complet sur les façons de recevoir les notifications.

Aussi, l'expérience aurait pu bénéficier d'un plus grand nombre de mesures pour évaluer le comportement de conduite des participants. Même si les mesures que

nous avons sont de bons indicateurs pour mesurer la conduite automobile risquée, l'ajout d'autres mesures permettrait à de futures recherches de peindre un portrait plus complet de la situation.

Finalement, il serait d'intérêt de refaire cette expérience dans quelques années lorsque la montre intelligente sera un objet plus commun et utilisé. Le téléphone mobile est un outil commun à tous et utilisé fréquemment par plus de personnes que la montre intelligente. Un contexte où les gens sont aussi habitués à la montre intelligente qu'au téléphone mobile pourrait être un contexte aussi intéressant dans lequel faire une expérience comparant l'utilisation de la montre intelligente au volant avec le téléphone mobile.

Bibliographie

Allport A., Styles E. A., Hsieh S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In Umilta C., Moscovitch M. (Eds.), *Attention and performance XV* (pp. 421– 452). Cambridge, MA: MIT Press.

André, M., & Pronello, C. (1996). *Speed and acceleration impact on pollutant emissions* (No. 961113). SAE Technical Paper.

Apple (2020). *Utilisez CarPlay avec votre iPhone*.

<https://support.apple.com/fr-ca/HT205634>

Balters, S., Murnane, E. L., Landay, J. A., & Paredes, P. E. (2018, May). Breath Booster! Exploring In-car, Fast-paced Breathing Interventions to Enhance Driver Arousal State. In *Proceedings of the 12th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 128-137).

Barón, A., & Green, P. (2006). Safety and Usability of Speech Interfaces for In-Vehicle Tasks while Driving: A Brief Literature Review. Technical Report UMTRI.

Behrmann, M & Shomstein, S (2010) Attention: Object-Based, in *Encyclopedia of Perception*, E.B.Goldstein, Editor. SAGE: London. p. 94-97.

Bonneau, D., (2012) Le réfrigérateur intelligent, *La Presse*
<https://www.lapresse.ca/maison/decoration/design/201209/26/01-4577693-le-refrigerateur-intelligent.php>

Botzer, A., Musicant, O., & Mama, Y. (2019). Relationship between hazard-perception-test scores and proportion of hard-braking events during on-road driving—An investigation using a range of thresholds for hard-braking. *Accident Analysis & Prevention*, 132, 105267.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Oxford University Press.

Brodsky, W., & Slor, Z. (2013). Background music as a risk factor for distraction among young- novice drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 382-393.

Cain, B. (2007). A review of the mental workload literature. Defence Research And Development Toronto (Canada).

Caird, J. K., Johnston, K. A., Willness, C. R., Asbridge, M., & Steel, P. (2014). A meta-analysis of the effects of texting on driving. *Accident Analysis & Prevention*, 71, 311-318.

Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P., & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1282-1293.

Canadian Council of Motor Transport Administrators (CCMTA) (2018), Livre blanc sur la distraction au volant, CCMTA, https://ccmta.ca/images/publications/pdf/PDF%20FRENCH/CCMTA_Distracting_Driving_White_Paper_-_Revised_December_2018_-_French.pdf

Carrasco, M. (2010) Attention: Covert, in Encyclopedia of Perception, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. p. 74-78.

Carrasco, M. (2010) Attention: Effect on Perception, in Encyclopedia of Perception, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. p. 90-94.

Chouk I. et Mani Z. (2016), Les objets connectés peuvent-ils susciter une résistance de la part des consommateurs ? Une étude netnographique, *Décisions Marketing*, 84, 19-41.

City Car Driving (2020), City Car Driving - Car Simulator, PC Game. *City Car Driving*, <https://citycardriving.com/>

Courage, M. L., Bakhtiar, A., Fitzpatrick, C., Kenny, S., & Brandeau, K. (2015). Growing up multitasking: The costs and benefits for cognitive development. *Developmental Review*, 35, 5-41.

Courtemanche, F., Labonté-LeMoine, E., Léger, P. M., Fredette, M., Senecal, S., Cameron, A. F., ... & Bellavance, F. (2019). Texting while walking: An expensive switch cost. *Accident Analysis & Prevention*, 127, 1-8.

Deziel, C. (2018), How to convert Newtons to G-Force, *Sciencing*
<https://sciencing.com/convert-newtons-gforce-8720337.html>

Eggemeier, F. T., Wilson, G. F., Kramer, A. F., & Damos, D. L. (1991). Workload assessment in multi-task environments. *Multiple-task performance*, 207-216.

Evans, L. H., Herron, J. E., & Wilding, E. L. (2015). Direct real-time neural evidence for task-set inertia. *Psychological science*, 26(3), 284-290.

FindLaw (2016), Distracted Driving. *FindLaw*, <https://traffic.findlaw.com/traffic-tickets/distracted-driving.html>

FindLaw (2020), State Traffic Law. *FindLaw*,
<https://traffic.findlaw.com/traffic-tickets/state-traffic-laws.html>

Folk, C.L. (2010) Attention: Divided, in *Encyclopedia of Perception*, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. p. 84-87.

Giang, W. C., Hoekstra-Atwood, L., & Donmez, B. (2014, September). Driver engagement in notifications: a comparison of visual-manual interaction between smartwatches and smartphones. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 58, No. 1, pp. 2161-2165). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.

Giang, W. C., Shanti, I., Chen, H. Y. W., Zhou, A., & Donmez, B. (2015, September). Smartwatches vs. smartphones: a preliminary report of driver behavior and perceived risk while responding to notifications. In *Proceedings of the 7th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications* (pp. 154-161). ACM.

Gliklich, E., Guo, R., & Bergmark, R. W. (2016). Texting while driving: A study of 1211 U.S. adults with the Distracted Driving Survey. *Preventive medicine reports*, 4, 486-489.

González, V. M., Mark, G., & Mark, G. (2004, April). Constant, constant, multi-tasking craziness: managing multiple working spheres. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 113-120). ACM.

He, J., Chaparro, A., Nguyen, B., Burge, R. J., Crandall, J., Chaparro, B., ... & Cao, S. (2014). Texting while driving: Is speech-based text entry less risky than handheld text entry?. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 287-295.

Hill, A., Horswill, M. S., Whiting, J., & Watson, M. O. (2019). Computer-based hazard perception test scores are associated with the frequency of heavy braking in everyday driving. *Accident Analysis & Prevention*, 122, 207-214.

Horberry, T., Bubnich, C., Hartley, L., & Lamble, D. (2001). Drivers' use of handheld mobile phones in Western Australia. *Transportation research Part F: Traffic psychology and behaviour*, 4(3), 213-218.

IDC. (June 19, 2019). Forecast wearables unit shipments worldwide from 2014 to 2023 (in millions) [Graph]. In *Statista*. Retrieved December 11, 2019, from <https://www.statista.com/statistics/437871/wearables-worldwide-shipments/>

Jennings, J. R., Kamarck, T., Stewart, C., Eddy, M., & Johnson, P. (1992). Alternate cardiovascular baseline assessment techniques: Vanilla or resting baseline. *Psychophysiology*, 29(6), 742-750.

Jensen, B. S., Skov, M. B., & Thiruravichandran, N. (2010). Studying driver attention and behaviour for three configurations of GPS navigation in real traffic driving. In: CHI '10 Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems. ACM, New York, NY, USA.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kerby, D. S. (2014). The simple difference formula: An approach to teaching nonparametric correlation. *Comprehensive Psychology*, 3, 11-IT.

Kidd, D. G., Tison, J., Chaudhary, N. K., McCartt, A. T., & Casanova-Powell, T. D. (2016). The influence of roadway situation, other contextual factors, and driver characteristics on the prevalence of driver secondary behaviors. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 41, 1-9.

Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J. D., & Ramsey, D. J. (2009). *Comparing real-world behaviors of drivers with high versus low rates of crashes and near crashes* (No. DOT-HS-811-091).

Koch, C., & Tsuchiya, N. (2006). Attention and consciousness: Two distinct brain processes. *Trends in Cognitive Science*, 11, 16–22

Koppel, S., Charlton, J., Kopinathan, C., & Taranto, D. (2011). Are child occupants a significant source of driving distraction? *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1236-1244.

Lamkin, Paul (2018). *Smartwatches To Dominate Wearable Tech - Double Digit Growth Forecast For Industry*, Forbes
<https://www.forbes.com/sites/paullamkin/2018/12/19/smartwatches-to-dominate-wearable-tech-double-digit-growth-forecast-for-industry/#157659e61a4b>

Lamme, V. A. F. (2003). Why visual attention and awareness are different. *Trends in Cognitive Science*, 7, 12–18

Lemercier, C., & Cellier, J. M. (2008). Les défauts de l'attention en conduite automobile: inattention, distraction et interférence. *Le travail humain*, 71(3), 271-296.

Levin, D. T., & Simons, D. J. (1997). Failure to detect changes to attended objects in motion pictures. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4(4), 501–506

Lin, M. I. B., & Huang, Y. P. (2017). The impact of walking while using a smartphone on pedestrians' awareness of roadside events. *Accident Analysis & Prevention*, 101, 87-96.

Maciej, J., & Vollrath, M. (2009). Comparison of manual vs. speech-based interaction with in-vehicle information systems. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 924-930.

Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattention blindness*. Cambridge: MIT Press.

Marquart, G., Cabrall, C., & de Winter, J. (2015). Review of eye-related measures of drivers' mental workload. *Procedia Manufacturing*, 3, 2854-2861.

Meldrum, R. C., Boman, J. H., & Back, S. (2019). Low self-control, social learning, and texting while driving. *American journal of criminal justice*, 44(2), 191-210.

McCallum, M. C., Campbell, J. L., Richman, J. B., Brown, J. L., & Wiese, E. (2004). Speech recognition and in-vehicle telematics devices: Potential reductions in driver distraction. *International Journal of Speech Technology*, 7(1), 25-33.

Moore, C., *Attention and Consciousness*, in *Encyclopedia of Perception*, E.B. Goldstein, Editor. 2010, SAGE: London. p. 112-115.

Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134-140. doi:10.1016/S1364-6613(03)00028-7

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2020), Distracted Driving, NHTSA, <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/distracted-driving>

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2019. Traffic safety facts: Driver Electronic Device Use, 2017. NHTSA, Washington, DC, Report No. DOT-HS812-665

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2019. Traffic safety facts: distracted driving in fatal crashes, 2017. NHTSA, Washington, DC, Report No. DOT-HS812-700

Nieuwenhuis, S., & Monsell, S. (2002). Residual costs in task switching: Testing the failure-to-engage hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(1), 86-92. doi:10.3758/BF03196259

Olsen, E. O. M., Shults, R. A., & Eaton, D. K. (2013). Texting while driving and other risky motor vehicle behaviors among U.S. high school students. *Pediatrics*, 131(6), e1708-e1715.

Olson, C., Kemery, K. (2019) Voice Report. From answers to action: customer adoption of voice technology and digital assistants. *Microsoft* https://advertiseonbing-blob.azureedge.net/blob/bingads/media/insight/whitepapers/2019/04%20apr/voice-report/bingads_2019_voicereport.pdf

Östlund, J., Peters, B., Thorslund, B., Engström, J., Markkula, G., Keinath, A., ... & Foehl, U. (2005). Driving performance assessment-methods and metrics. *EU Deliverable, Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface Project (AIDE)*.

Palinko, O., Kun, A. L., Shyrovov, A., & Heeman, P. (2010, March). Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research & applications (pp. 141-144).

Patten, C. J., Kircher, A., Östlund, J., & Nilsson, L. (2004). Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident analysis & prevention*, 36(3), 341-350.

Perlman, D., Samost, A., Domel, A. G., Mehler, B., Dobres, J., & Reimer, B. (2019). The relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. *Applied ergonomics*, 75, 8-16.

Pew Research Center (2019). *Mobile fact sheet*, <https://www.pewresearch.org/internet/fact-sheet/mobile/>

Pollard, M. A., & Courage, M. L. (2017). Working memory capacity predicts effective multitasking. *Computers in Human Behavior*, 76, 450-462.

Posner, M. I. (1994). Attention: The mechanisms of consciousness. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 91, 7398– 7403.

PR Newswire (2019), World Market for Wearable Devices, Set to Reach \$62.82 Billion by 2025 - Increasing Penetration of IoT & Related Devices Drives Market

Growth, *Cision PR Newswire*, <https://www.prnewswire.com/news-releases/world-market-for-wearable-devices-set-to-reach-62-82-billion-by-2025---increasing-penetration-of-iot--related-devices-drives-market-growth-300974593.html>

Radio-Canada., (2020) Cette toilette intelligente peut détecter des problèmes de santé, *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1691851/toilette-intelligente-cancer-maladies-detection-camera-universite-stanford>

Salvucci, D. D., & Taatgen, N. A. (2011). Toward a unified view of cognitive control. *Topics in cognitive science*, 3(2), 227-230.

Salvucci, D. D., Taatgen, N. A., & Borst, J. P. (2009, April). Toward a unified theory of the multitasking continuum: From concurrent performance to task switching, interruption, and resumption. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1819-1828). ACM.

Samost, A., Perlman, D., Domel, A. G., Reimer, B., Mehler, B., Mehler, A., ... & McWilliams, T. (2015, September). Comparing the relative impact of smartwatch and smartphone use while driving on workload, attention, and driving performance. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 59, No. 1, pp. 1602- 1606). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2020). *Distraction : Ce que dit la loi*. <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/comportements/distractions/ce-que-dit-la-loi/>

Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2020). *Obtenir son permis*. <https://saaq.gouv.qc.ca/permis-de-conduire/obtenir-permis/auto-classe-5/>

Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) (2018). Données et statistiques <https://saaq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/donnees-statistiques-2018.pdf>

Spence, C. (2010) Attention: Cross-modal, in *Encyclopedia of Perception*, E.B. Goldstein, Editor. SAGE: London. p. 78-81.

Spink, A. (2004). Multitasking information behavior and information task switching: An exploratory study. *Journal of documentation*.

Statista (2019), Number of wearable users in the U.S., *Statista*, <https://www.statista.com/statistics/543070/number-of-wearable-users-in-the-us/>

Statista Inc. (2019), "Wearables - Canada."
Statista, <https://www.statista.com/outlook/319/108/wearables/canada>

Strategy Analytics research services, May 2019 : IoT Strategies, Connected Home Devices, Connected Computing Devices, Wireless Smartphone Strategies, Wearable Device Ecosystem, Smart Home Strategies.

Strayer, D. L., & Drews, F. A. (2007). Cell-phone–induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*, 16(3), 128-131.

Tractica. (September 30, 2017). Wearable device sales revenue worldwide from 2016 to 2022 (in billion U.S. dollars) [Graph]. In *Statista*. Retrieved December 11, 2019, from <https://www.statista.com/statistics/610447/wearable-device-revenue-worldwide/>

Tran, C. C., Yan, S., Habiyaremye, J. L., & Wei, Y. (2017, December). Predicting driver's work performance in driving simulator based on physiological indices. In *International Conference on Intelligent Human Computer Interaction* (pp. 150-162). Springer, Cham.

Utter, D. (2001). *Passenger vehicle driver cell phone use: results from the fall 2000 national occupant protection use survey* (No. DOT HS 809 293). United States. National Highway Traffic Safety Administration.

Vaiana, R., Iuele, T., Astarita, V., Caruso, M. V., Tassitani, A., Zaffino, C., & Giofrè, V. P. (2014). Driving behavior and traffic safety: an acceleration-based safety evaluation procedure for smartphones. *Modern Applied Science*, 8(1), 88.

Vollrath, M., Huemer, A. K., Teller, C., Likhacheva, A., & Fricke, J. (2016). Do German drivers use their smartphones safely? —Not really! *Accident Analysis & Prevention*, 96, 29-38.

- Whitwam, Ryan (2019). *1 in 6 U.S. Adults Now Own a Smartwatch*, ExtremeTech <https://www.extremetech.com/mobile/285724-1-in-6-us-adults-now-own-a-smartwatch>
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman, & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-101). New York: Academic Press.
- Widyanti, A., & Sutanto, F. (2017). Correlation between Type-A Personality and Risky Driving Behavior. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(13), 3362-3366.
- Wurmser, Yohan (Mai 2019). *U.S. time spent with mobile 2019*, eMarketer <https://www.emarketer.com/content/us-time-spent-with-mobile-2019>
- Wurmser, Yohan (Janvier 2019). *Wearables 2019*, eMarketer <https://www.emarketer.com/content/wearables-2019>
- Wylie, G., & Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of “switch costs”. *Psychological research*, 63(3-4), 212-233.
- Young, M. S., Mahfoud, J. M., Walker, G. H., Jenkins, D. P., & Stanton, N. A. (2008). Crash dieting: The effects of eating and drinking on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 142-148.