



IBSR

Téléphoner avec un kit mains libres diminue-t-il notre vigilance sur la route?

Résultats d'une étude sur les mouvements des yeux sur l'autoroute.

Remerciements :

Les auteurs et l'Institut Belge pour la Sécurité Routière souhaitent remercier les personnes suivantes pour leur très précieuse collaboration à cette étude :

- Le Service Public Fédéral Mobilité, qui a fourni les ressources financières pour cette étude.
- Willem Vlakveld de la Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV, La Haye, Pays-Bas), qui a fait office de réviseur externe d'une version préliminaire de ce rapport et Ludo Kluppels, Julie Maes et Sofie Boets, qui ont fait office de conseillers et réviseurs internes au sein de l'IBSR. Les auteurs sont cependant responsables du contenu de ce rapport.
- Peter Silverans et Wouter Van den Berghe, responsables de la qualité finale et qui ont également supervisé les activités de recherche.
- Profacts, qui a assuré le recrutement de sujets et assuré une partie du traitement des données.
- Notre collègue Alexandre Lefebvre pour la vérification des traductions. La société « Dynamics translations », qui a traduit le rapport du néerlandais vers le français, ainsi que notre collègue Julien Leblud pour la vérification de la traduction française.

Téléphoner avec un kit mains libres diminue-t-il notre vigilance sur la route? Résultats d'une étude sur les mouvements des yeux sur l'autoroute.

Rapport de recherche n° 2017-R-03-FR

D/2017/0779/24

Auteurs: Charlotte Desmet & Kevin Diependaele

Éditeur responsable: Karin Genoe

Éditeur: Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière

Date de publication: 10/08/2017

Veillez faire référence au présent document: de la manière suivante: Desmet, C., & Diependaele, K. (2017). Téléphoner avec un kit mains libres diminue-t-il notre vigilance sur la route? Résultats d'une étude sur les mouvements des yeux sur l'autoroute. Bruxelles, Belgique: Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière

Dit rapport is eveneens beschikbaar in het Nederlands onder de titel: Vermindert handenvrij bellen onze alertheid op de weg? Resultaten van een oogbewegingsstudie op de autosnelweg.

This report includes an English summary.

Cette recherche a été rendue possible par le soutien financier du Service Public Fédéral Mobilité et Transports.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	3
Executive Summary	7
1 Introduction	11
2 Méthode	13
2.1 Echantillon	13
2.2 Déroulement de l'expérience	14
2.3 Variables de comportement mesurées	15
2.3.1 Lunettes de suivi oculaire	15
2.3.2 Variables de mouvements oculaires	15
2.3.3 Variables de conduite	17
3 Analyse des données et résultats	18
3.1 Fréquence de fixation	18
3.2 Durées des fixations	20
3.3 Schéma de balayage visuel	21
3.4 Variables de conduite	22
4 Discussion	24
4.1 Aperçu des résultats	24
4.2 Comparaison avec des résultats d'autres études	25
4.3 Besoin d'études complémentaires	26
5 Conclusion et recommandations	28
Liste des figures et tableaux	30
References	31

RÉSUMÉ

But et méthodologie

Des études ont clairement démontré que téléphoner en conduisant était néfaste pour la sécurité routière. Le nombre d'accidents augmente, la détection des dangers est plus lente et la position sur la route et la vitesse s'en trouvent influencées (Caird et al., 2008; Dingus et al., 2016). Même si d'aucuns affirment que téléphoner avec un kit mains libres est sûr, contrairement à l'utilisation du téléphone sans kit mains libres, certaines études n'ont mis au jour aucune différence au niveau de la sécurité routière entre les deux modes (par ex. Ishigami & Klein, 2009). Plusieurs sources de distraction jouent en effet un rôle lorsque l'on téléphone au volant. Quand on téléphone avec un kit mains libres, la manipulation de l'appareil est réduite au minimum, ce qui diminue les formes de distraction visuelles et physiques. La distraction cognitive cependant (partage de l'attention entre une conversation téléphonique et le contrôle du trafic) est la même que l'on téléphone avec ou sans kit mains libres.

Cette étude a eu pour but de mesurer les effets de l'utilisation d'un kit mains libres sur l'attention du conducteur. Pour ce faire, une étude des mouvements des yeux sur la route a été réalisée. Les mouvements des yeux sont en effet fortement influencés par des processus d'attention (Posner, 1980).

Trente sujets ont parcouru successivement deux trajets de chacun 14 kilomètres environ sur une autoroute à 3 bandes. Pendant l'un de ces deux trajets, ils ont répondu à un appel à l'aide d'un kit mains libres (trajet d'essai). Pendant l'autre trajet, ils n'ont mené aucune conversation téléphonique (trajet de contrôle). Pendant ces trajets, les sujets portaient des lunettes spéciales enregistrant les mouvements de leurs yeux dans 7 zones pertinentes pour la sécurité routière. Elles mesuraient plus particulièrement le nombre de fois que les conducteurs fixaient les panneaux de signalisation, le rétroviseur arrière, le rétroviseur gauche, le rétroviseur droit, la route, les autres véhicules et le compteur de vitesse ainsi que la durée de ces fixations.

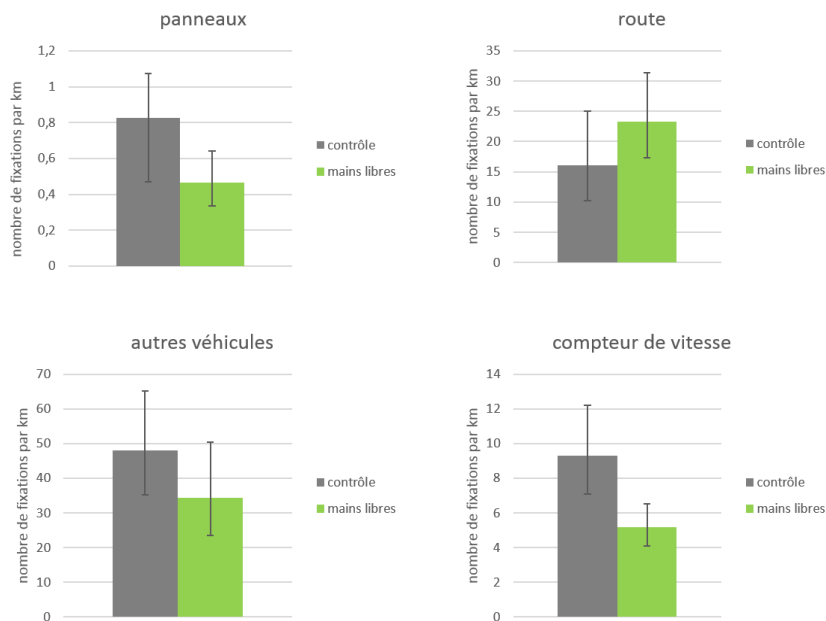
Le schéma séquentiel des fixations (schéma de balayage visuel) des sujets sur ces 2 trajets a été mesuré. Il a tout particulièrement été examiné s'il était question de rétrécissement du champ visuel en raison de l'utilisation du kit mains libres. Deux variables ont été utilisées à cette fin: les durées de saccades et les densités des coordonnées x et y des fixations. La durée d'une saccade est le temps qui s'écoule entre deux fixations successives. Une saccade plus courte correspond à une distance plus réduite entre des fixations successives et implique un schéma de balayage plus concentré en comparaison à des saccades plus longues. Ensuite, les densités des coordonnées x et y des fixations ont été étudiées. Des densités plus élevées représentent un schéma de balayage plus concentré en comparaison à des densités plus basses.

Pour terminer, nous avons comparé les 4 variables de conduite pour les deux trajets : la vitesse moyenne, le temps passé sur chacune des 3 bandes de circulation, le nombre de changements de bandes et la distance avec la voiture qui précède lors d'un dépassement.

Résultats clés

Nous avons mis au jour une différence significative au niveau du nombre de fixations entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle pour 4 des 7 zones pertinentes. Pendant le trajet d'essai, les sujets ont moins fixé les panneaux, les autres véhicules et leur compteur de vitesse. Par contre, ils ont davantage fixé la route lors de l'utilisation du kit mains libres. La Figure A illustre l'effet du type de trajet sur le nombre de fixations.

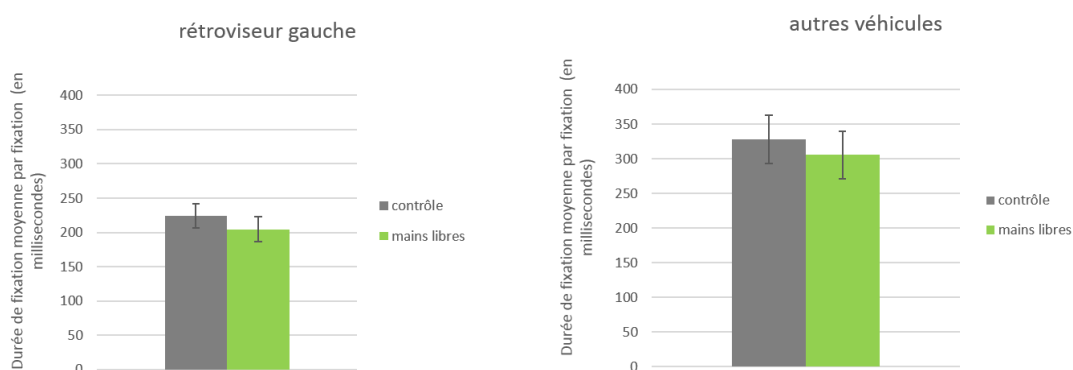
Figure A. Nombre de fixations par km sur les zones pertinentes dans lesquels une différence fiable entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.



Les barres d'erreur donnent des intervalles de confiance à 95 %.

Nous avons également trouvé une différence au niveau de la durée de fixation dans 2 zones pertinentes. Il ressort de la Figure B que les fixations du rétroviseur côté conducteur (rétroviseur gauche) étaient plus courtes lors du trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle. Nous avons également identifié une tendance similaire pour la durée de fixation moyenne d'autres véhicules: pendant l'utilisation d'un kit mains libres, les fixations sur d'autres véhicules étaient moins longues que pendant le trajet de contrôle.

Figure B. Durée de fixation moyenne sur les zones pertinentes dans lesquels une différence fiable entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.

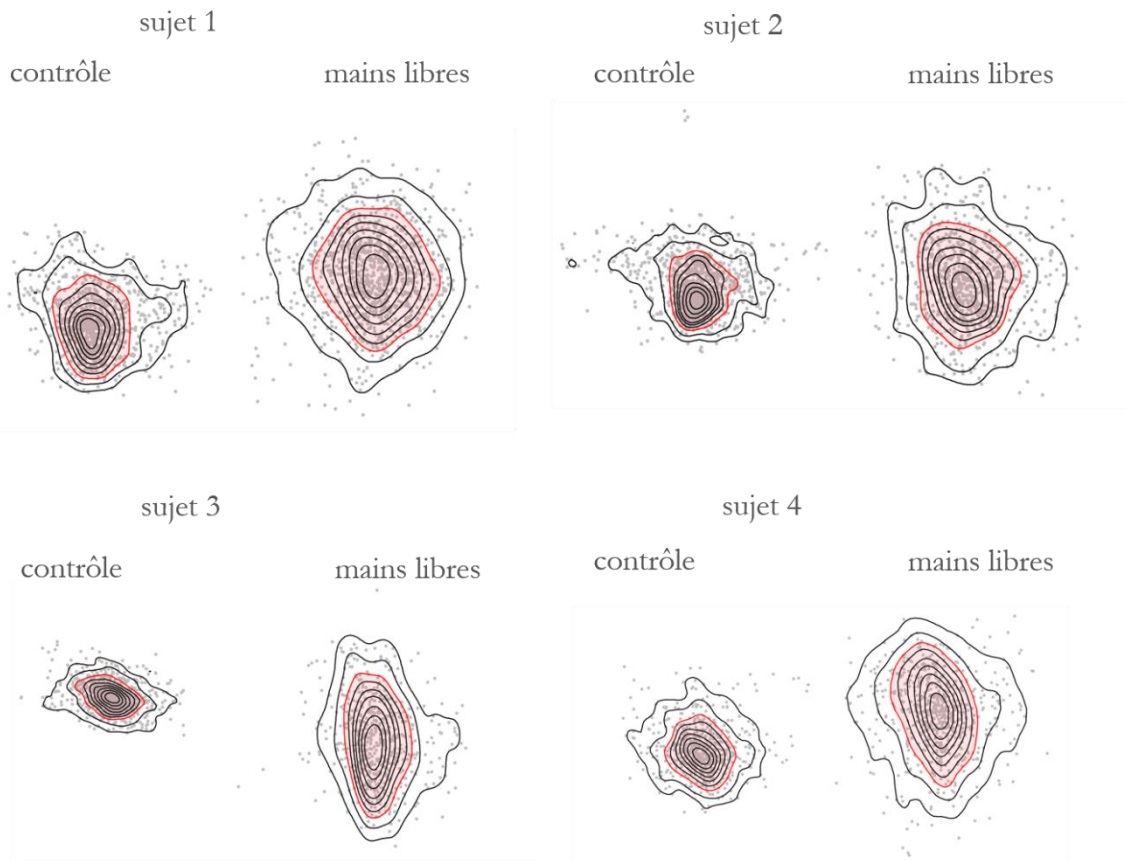


Les barres d'erreur donnent des intervalles de confiance à 95 %.

Les résultats relatifs aux schémas de balayage visuels ont démontré que les sujets, pendant l'utilisation du kit mains libres, balayaient une partie plus large de leur champ visuel. Nous avons observé d'une part des saccades plus longues pendant le trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle. D'autre part, les densités des coordonnées x et y des fixations ont fait état d'une attention moins soutenue pendant l'utilisation du kit mains libres. A titre d'illustration, la Figure C reprend un graphique de densité de 4

sujets. Rien ne prouve dès lors qu'un rétrécissement visuel survient pendant l'utilisation du kit mains libres, mais des preuves d'un accroissement du champ visuel sont apparues.

Figure C. Graphiques de densité pendant le trajet de contrôle et le trajet d'essai de 4 sujets à titre d'illustration.



Les lignes noires représentent les contours de densité. Chaque contour englobe une proportion spécifique des fixations. Ces graphiques représentent les contours de densité englobant les proportions de fixations suivantes (de l'intérieur vers l'extérieur) : 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.68 (en rouge), 0.70, 0.80 et 0.90. La surface colorée représente la surface englobée par le contour $p = 0,68$ et comparée entre les deux conditions (avec et sans kit mains libres) étudiées dans le présent rapport.

Enfin, la comparaison des variables de conduite n'a mis au jour aucune différence en termes de vitesse, distance de dépassement et nombre de changements de bande entre les deux trajets. Nous avons cependant découvert une tendance à rester plus longtemps sur la bande du milieu et moins sur la bande de gauche lors du trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle.

Conclusion et recommandations clés

Les résultats de cette étude démontrent que l'utilisation d'un kit mains libres a une influence évidente sur le comportement au volant. Il apparaît tout d'abord que lors de l'utilisation d'un kit mains libres, le conducteur prête moins et moins longtemps attention à plusieurs zones pertinentes pour la sécurité routière.

Ensuite, les analyses des saccades et des graphiques de densité démontrent que le schéma de balayage général varie entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. Pendant le premier, les saccades semblent plus longues que lors du second. Cet élément signifie que les sujets balayaient une plus grande partie du champ visuel pendant l'utilisation d'un kit mains libres. Cette constatation se confirme par l'inspection des graphiques de densité. Il en ressort clairement que les sujets, pendant l'utilisation d'un kit mains libres, balayaient une partie bien plus large de leur champ visuel que pendant le trajet de contrôle. L'on pourrait en déduire que cette attitude est bénéfique à la sécurité routière, vu que les conducteurs balayaient apparemment une plus grande portion de leur champ visuel. Ce schéma de fixation n'implique cependant

pas nécessairement un meilleur traitement des données. Tout dépend de la différence entre regarder et voir. Même si les fixations des yeux indiquent qu'une personne regarde quelque chose, rien ne dit qu'elle voit réellement ces informations. Si l'on regarde quelque chose en pensant à tout à fait autre chose, il est fort probable que les informations pertinentes nous échapperont.

Dans l'ensemble, cette étude a démontré que les fixations des yeux étaient plus étalées lors de l'utilisation d'un kit mains libres et que le temps de fixation sur certaines sources d'informations pertinentes pour la circulation était réduit. Ces éléments semblent indiquer une observation moins ciblée ou moins active de la circulation pendant l'utilisation d'un kit mains libres. En ce qui concerne les variables de conduite, nous avons découvert que les conducteurs qui utilisaient le kit mains libres étaient plus enclins à rouler sur la bande du milieu et moins sur la bande de gauche. Cette donnée confirme que les conducteurs sont impliqués moins activement dans la circulation lorsqu'ils utilisent un kit mains libres.

Devons-nous alors tendre vers une interdiction totale de téléphoner en conduisant? Vu qu'il est difficile ou pratiquement impossible de vérifier si une personne est en train de téléphoner avec un kit mains libres, une mesure de ce type ne pourra être contrôlée. L'IBSR ne prône dès lors pas une interdiction totale de l'utilisation du GSM au volant. L'IBSR estime que les utilisateurs doivent être suffisamment avertis du risque potentiel et qu'il est nécessaire de les sensibiliser au principe « Pas de GSM au volant ».

EXECUTIVE SUMMARY

Goal and methodology

Research clearly shows that phoning while driving is detrimental for traffic safety. It leads to more accidents, a slower hazard detection and it influences the position on the road and speed (for example: Caird et al., 2008; Dingus et al., 2016). Although the general idea might be that handsfree phoning is safer than handheld phoning, a number of studies failed to find differences between the effects on traffic safety during handsfree and handheld phoning (e.g., Ishigami & Klein, 2009). Multiple sources of distraction are at play while phoning in the car. During a handsfree phone call, visual and physical forms of distraction are reduced because the operation of the device is less complicated. However, the cognitive distraction (the division of attention between the phone call and the monitoring of the traffic situation) is equally present during handsfree as handheld phoning.

The purpose of this study was to study the effects of handsfree phoning on the driver's attention. We did this by means of an eye-tracking study on the road. Eyemovement patterns are strongly influenced by attention (Posner, 1980) and are thus a good measure to study drivers' attentional processes.

Thirty participants drove consecutively two rides of ca. 14 km on a highway with three lanes. During one of these two rides they received a handsfree phone call (testride). During the other ride they did not receive any call (controlride). While they drove, participants wore eye-tracking glasses and their eyemovements towards 7 areas of interest were registered. Moreover, we investigated how much and how long participants fixated traffic signs, the rearview mirror, the left side mirror, the right side mirror, the road, other vehicles and the speedometer.

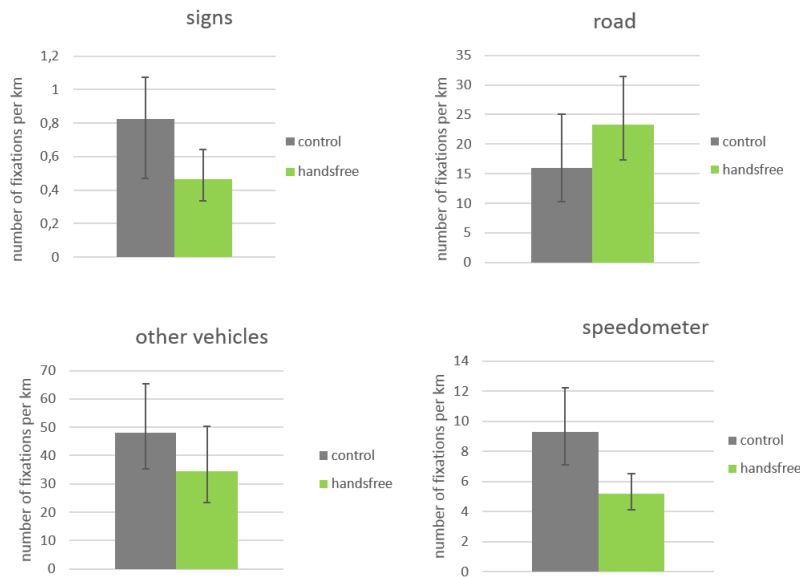
Further, the sequential pattern of fixations – or the visual scanpattern – during the 2 rides was investigated. More specifically, we examined if handsfree phoning led to a visual narrowing. The visual scanpattern was operationalized by means of two variables: the saccadetime and the density of the x- and y- coordinates of the fixations. The saccadetime is the time elapsed between two consecutive fixations. Shorter saccadetimes represent smaller distances between consecutive fixations and imply a more focused scanpattern compared to longer saccadetimes. Second, we studied the densities of the x- and y- coordinates of the fixations. Higher densities represent a more focused scanpattern in comparison with lower densities.

Finally, we compared 4 driving variables for both rides: the mean speed, the time spent on each of the 3 lanes, the number of lane changes, and the overtakingdistance.

Most important results

We observed a reliable difference in the number of fixations during the testride (handsfree) and the controlride for 4 of the 7 areas of interest. Participants fixated less on signs, other vehicles and the speedometer while making a handsfree call. On the other hand, the road was fixated more during a handsfree call than during the controlride. Figure A shows the effect of the ride on the number of fixations.

Figure A. The number of fixations per km on the areas of interest for which a reliable difference between the testride and the controlride was observed.



Errorbars represent the 95% confidenceintervals.

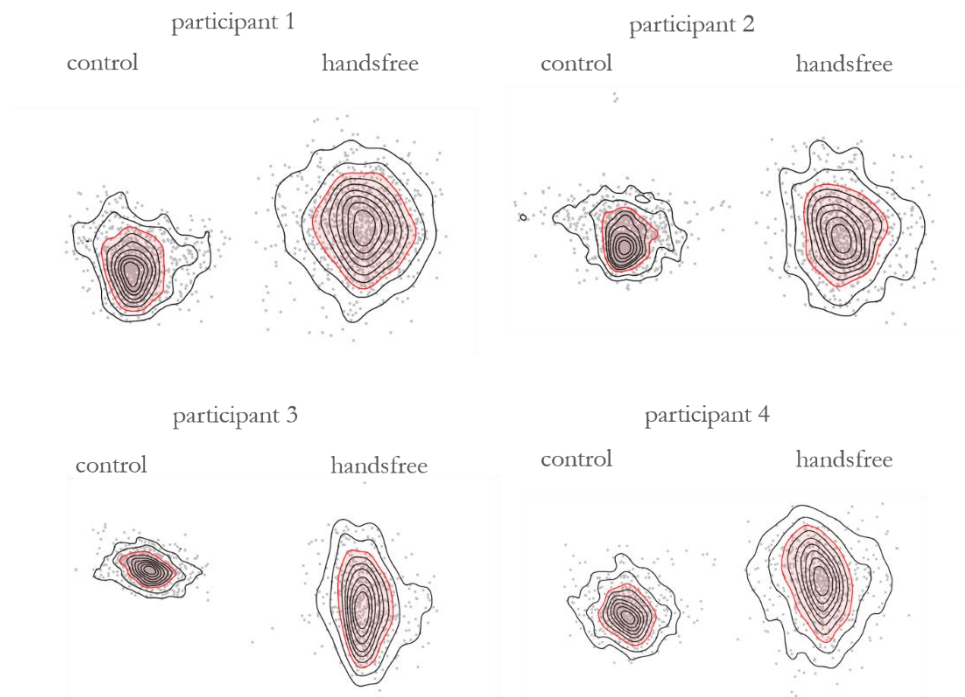
Further, we found a difference in fixationduration for 2 areas of interest. Figure B shows that the fixations at the mirror at the side of the driver (left side mirror) were shorter during the testride than during the controlride. In addition, we observed a trend in the same direction for the mean fixationduration related to other vehicles: during a handsfree phone call the fixations at other vehicles were shorter than during the controlride.

Figure B. Mean fixationduration for the areas of interest where a reliable difference between the test and the controlride was observed.



Errorbars represent the 95% confidenceintervals.

The results concerning the visual scanpatterns indicate that participants scan a more extensive part of their visual field while phoning handsfree. First of all, we observed longer saccadetimes during the testride compared to the controlride. Secondly, the densities of the x- and y- coordinates of the fixations showed a less focused pattern during handsfree phoning. To illustrate this latter finding, Figure C shows the density plots for 4 participants. We thus obtained no evidence for a visual narrowing during handsfree phoning but evidence for the opposite pattern.

Figure C. Density plots during the testride and the controlride for 4 participants.

Black lines represent density contours. Every contour comprises a certain proportion of fixations. In the graphs, the density contours comprise the following proportion of fixations (from the inner contour to the most outward): 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.68 (in red), 0.70, 0.80 and 0.90. The coloured surface represents the surface comprised by the $p = 0.68$ contour and is compared between both conditions (handsfree and control) in this report.

Finally, the comparison of the driving variables showed no difference in speed, the number of lane changes, and the overtaking distance. However, we observed a trend towards more driving on the middle and less driving on the left lane during the testride in comparison with the controlride.

Conclusion and most important recommendations

The results of this study show that handsfree phoning has a clear influence on driving behaviour. First of all, during handsfree phoning there are less and shorter fixations at a number of areas relevant for traffic safety.

Second, the analyses of the saccade times and the density plots show that the visual scan pattern is different for the testride and the controlride. The duration of the saccades is longer during the testride than during the controlride. It indicates that participants inspect a larger part of their visual field while phoning handsfree. This is further confirmed by the inspection of the density plots. These plots clearly show that participants scan a more extensive part of their visual environment during the testride than during the controlride. One could argue that this is beneficial for traffic safety: drivers inspect a larger part of their visual surroundings during handsfree phoning. However, this fixation pattern does not necessarily imply a better processing of the information. This relates to the difference between “look” and “see”. Although eye fixations indicate where somebody is looking at, this does not mean that this information is consciously processed. If we look at something while we are thinking of something else, chances are large that we miss the relevant information.

In short, the results of this study show that eye fixations are more spread over the visual field during handsfree phoning and that there are less and shorter fixations at a number of traffic related areas. This suggests that during handsfree phoning the gaze behaviour is less directed to the traffic situation. Concerning the driving variables, we found a trend towards more driving on the middle lane and less

driving on the left lane during handsfree phoning. This confirms that drivers are less involved in traffic during a handsfree phone call.

Does this mean that we have to prohibit handsfree phoning? Because it is difficult and almost impossible to control if someone is making a handsfree phone call in the car, such a measure cannot be enforced. The BRSI is thus no advocate of a total prohibition of phoning while driving. However, the BRSI thinks that drivers should be sufficiently informed about the potential risks associated with handsfree phoning and supports the need to make people aware of the principle “car in = phone out”.

1 INTRODUCTION

Au vu de la popularité grandissante du GSM, nous estimons normal d'être joignable partout et à tout moment. Même dans la voiture, nous voulons assurer cette accessibilité et y utilisons souvent notre GSM. Cette attitude a été confirmée par une récente mesure d'attitude représentative menée par l'IBSR. Il en ressort que 32 % des personnes interrogées admettent utiliser parfois leur GSM au volant (Meesmann & Schoeters, 2016). Un vif intérêt, justifié, concernant les dangers potentiels liés à l'usage du GSM au volant a dès lors vu le jour.

Il ressort d'études épidémiologiques que l'usage du GSM au volant augmente le risque d'accident (par ex. Dingus et al., 2016; Redelmeier & Tibshirani, 1997, mais aussi Young, 2012). La relation entre accident et usage du GSM au volant n'a rien de surprenant lorsque l'on connaît les conséquences de l'utilisation du GSM sur le comportement au volant. Plusieurs résultats cohérents ont été mis au jour dans la littérature scientifique, se basant sur des études menées sur route et dans des simulateurs de conduite. Certaines études ont ainsi démontré que l'usage du GSM au volant avait une influence sur la distance par rapport au véhicule qui précède et il a été démontré que le conducteur éprouvait davantage de difficultés à rester dans sa bande lors d'une conversation téléphonique (Caird et al., 2008; SWOV, 2016).

L'usage du GSM au volant a également une nette influence sur la vitesse du conducteur. Ce dernier roule en effet plus lentement pendant une conversation téléphonique. Ce ralentissement de la vitesse s'explique parfois comme un comportement de compensation du risque: rouler plus lentement permet de rectifier les erreurs dues à l'inattention (Caird et al., 2008; Ishigami & Klein, 2009).

En marge de ces données qui indiquent que le contrôle du véhicule change, des études ont démontré que la détection (de situations dangereuses par exemple) était plus lente pendant une conversation téléphonique (Caird et al., 2008; Horrey & Wickens, 2006; Ishigami & Klein, 2009). L'exécution d'une deuxième tâche dans la voiture, que l'on peut comparer à une charge supplémentaire de notre système d'attention (téléphoner) induit donc un changement du comportement au volant.

Cette charge supplémentaire de notre système d'attention peut également être étudiée d'une façon plus directe par le contrôle des mouvements des yeux. Ces derniers sont en effet liés à des processus d'attention. Accorder de l'attention à un objet spécifique en fixant les yeux dessus s'appelle, dans la littérature, « l'attention ouverte » (Posner, 1980). Elle est contraire à « l'attention covert », dans laquelle l'attention est attirée par quelque chose sans que les yeux la fixent.

Les mouvements des yeux peuvent donc nous fournir des informations immédiates concernant les changements d'attention. D'une part, l'enregistrement des mouvements des yeux peut nous permettre de déterminer les éléments que les yeux fixent (les fixations des yeux) et la durée de ces fixations. Pendant ces fixations, les yeux fixent de manière stable un objet pendant une courte période (de 100ms minimum). Cette durée est nécessaire à l'assimilation d'informations visuelles (par ex. Duchowski, 2007).

D'autre part, l'enregistrement des mouvements des yeux permet également d'illustrer le schéma séquentiel des fixations, qu'on appelle également le schéma de balayage visuel du conducteur. En d'autres termes, il permet d'étudier les parties du champ visuel qui sont observées pendant un intervalle de temps spécifique. Les personnes vont-elles par exemple scanner visuellement l'espace sur l'ensemble de l'axe horizontal et vertical de leur champ visuel ou vont-elles se concentrer sur la partie centrale de leur champ visuel? Ce dernier cas de figure porte également le nom de vision tunnel. Des études antérieures ont démontré qu'il était question d'un rétrécissement du champ visuel perceptif lors d'une charge supplémentaire. Ce qui signifie que les personnes vont davantage regarder devant elles et moins sur les côtés périphériques du champ visuel (par ex. Maples et al., 2008; Recarte & Nunez, 2000). Des études sur les mouvements des yeux menées auprès de personnes téléphonant au volant ont démontré que les conducteurs regardaient moins les éléments pertinents pour la circulation, comme les rétroviseurs et le compteur kilométrique (Harbluk et al., 2007). En ce qui concerne le schéma de balayage visuel, il a été constaté qu'un effet tunnel apparaissait lors d'une conversation téléphonique (Harbluk et al., 2007). Cet effet semble renforcé lorsque la conversation a un impact émotionnel sur la personne en question (Briggs et al., 2011). La conversation proprement dite, mais aussi sa teneur (et plus particulièrement ses implications émotionnelles) ont une nette influence sur le chemin de balayage.

Au vu de ces effets néfastes, l'usage du GSM au volant a été repris dans le code de la route. En Belgique, la loi interdit l'usage d'un téléphone portable dans la voiture, sauf lorsque le véhicule est à l'arrêt (pour

permettre à des personnes de monter/descendre du véhicule ou pour le chargement/déchargement de choses) ou stationné. Bien que l'usage du GSM au volant soit interdit dans la plupart des pays européens, l'utilisation d'un kit mains libres y est partout autorisée. On pourrait en déduire que l'utilisation d'un kit mains libres n'a aucune influence sur notre comportement au volant.

Des études démontrent cependant qu'il n'en est rien. Plusieurs sources de distraction jouent en effet un rôle lorsque l'on téléphone au volant (Slootmans, 2015). Il existe par exemple des formes physiques et visuelles de distraction. Lorsque les yeux ne fixent pas la route (et par exemple l'écran du GSM), on parle de distraction visuelle. On parle de distraction physique lorsque, par exemple, une seule main est utilisée pour la conduite, l'autre servant à téléphoner.

La charge cognitive supplémentaire constitue également une importante forme de distraction. Un conducteur doit en effet partager son attention entre la conversation téléphonique et les conditions de circulation. Lorsque l'on téléphone avec un kit mains libres, la manipulation de l'appareil est réduite à un minimum, ce qui diminue les formes de distraction visuelles et physiques. La distraction cognitive cependant (partage de l'attention entre une conversation téléphonique et le contrôle du trafic) est la même que l'on téléphone avec ou sans kit mains libres. Certaines études n'ont donc mis au jour aucune différence entre les deux formes d'utilisation du GSM au volant. Des études épidémiologiques (par ex. McEvoy et al., 2005) ont par exemple démontré qu'il n'y avait aucune différence en termes de risque d'accident entre l'usage du GSM avec kits mains libres et sans kit mains libres. Il est également apparu que les temps de détection étaient affectés dans une même mesure pendant l'usage du GSM avec kits mains libres et sans kit mains libres (Caird et al., 2008; Ishigami & Klein, 2009). Les résultats en termes de vitesse sont moins univoques. La baisse de vitesse constatée lors de l'usage du GSM sans kit mains libres n'a pas été retrouvée de manière cohérente dans l'usage du GSM avec kit mains libres (Ishigami & Klein, 2009). Ce résultat peut indiquer que l'utilisation du kit mains libres n'induit aucune stratégie de compensation du risque (comme une baisse de la vitesse) (Dragutinovic & Divera, 2006).

Le but de la présente étude est d'illustrer les effets de l'utilisation d'un kit mains libres sur le comportement au volant. Nous le ferons à l'aide d'une étude expérimentale menée sur route. Celle-ci nous permet de placer le sujet dans une situation réelle tout en exerçant un contrôle sur le moment et la durée de la conversation téléphonique avec un kit mains libres. Les récentes évolutions technologiques permettent en outre de contrôler constamment les mouvements des yeux des sujets pendant le trajet en voiture. Cette mesure nous permet non seulement d'évaluer l'effet de l'utilisation du kit mains libres sur des variables de conduite mais aussi sur le chemin de balayage.

Dans cette étude, nous avons mesuré combien de fois et pendant combien de temps les sujets regardaient des informations relatives au trafic pertinentes. Les sujets de cette étude ont porté des lunettes enregistrant les mouvements des yeux pendant la conduite. Ces lunettes, qui s'apparentent à des lunettes ordinaires, enregistrent les mouvements des yeux. Chaque sujet a parcouru un trajet lors duquel il a mené une conversation téléphonique à l'aide d'un kit mains libres (trajet d'essai) et un trajet lors duquel il n'a mené aucune conversation (trajet de contrôle). Les trajets ont eu lieu sur une autoroute, afin de minimiser l'effet d'autres facteurs d'influence (comme des carrefours et feux de signalisation) sur les variables et le chemin de balayage.

Cette étude était la première « Naturalistic Driving Study » de l'IBSR, faisant appel à une technologie relativement récente pour enregistrer les mouvements des yeux. C'est la raison pour laquelle nous avons, pour cette étude, choisi de définir des catégories d'informations liées au trafic a priori pertinentes (comme le compteur de vitesse, les rétroviseurs et les autres véhicules). Dans le cadre de cette première étude, aucune analyse détaillée en temps réel d'informations pertinentes pour le trafic n'était donc prévue. Lors de l'analyse de fixations sur d'autres véhicules, aucune distinction n'a par exemple été établie entre véhicules critiques pour l'exécution sûre de la tâche de conduite et d'autres véhicules.

Notre hypothèse de recherche était que les informations pertinentes pour le trafic étaient moins souvent et moins longtemps fixées pendant le trajet d'essai que pendant le trajet de contrôle. Nous voulions également évaluer la présence de différences au niveau de la technique de balayage visuel entre une conversation téléphonique menée à l'aide d'un kit mains libres et l'absence de conversation téléphonique. Un rétrécissement du champs visuel serait possible une fois le conducteur chargé d'une tâche supplémentaire (comme téléphoner). En marge des mouvements des yeux, nous avons également enregistré plusieurs variables pendant ces deux trajets, à savoir la vitesse, le temps passé sur chacune des 3

bandes de circulation, le nombre de changements de bande et la distance avec la voiture qui précède lors d'un dépassement.

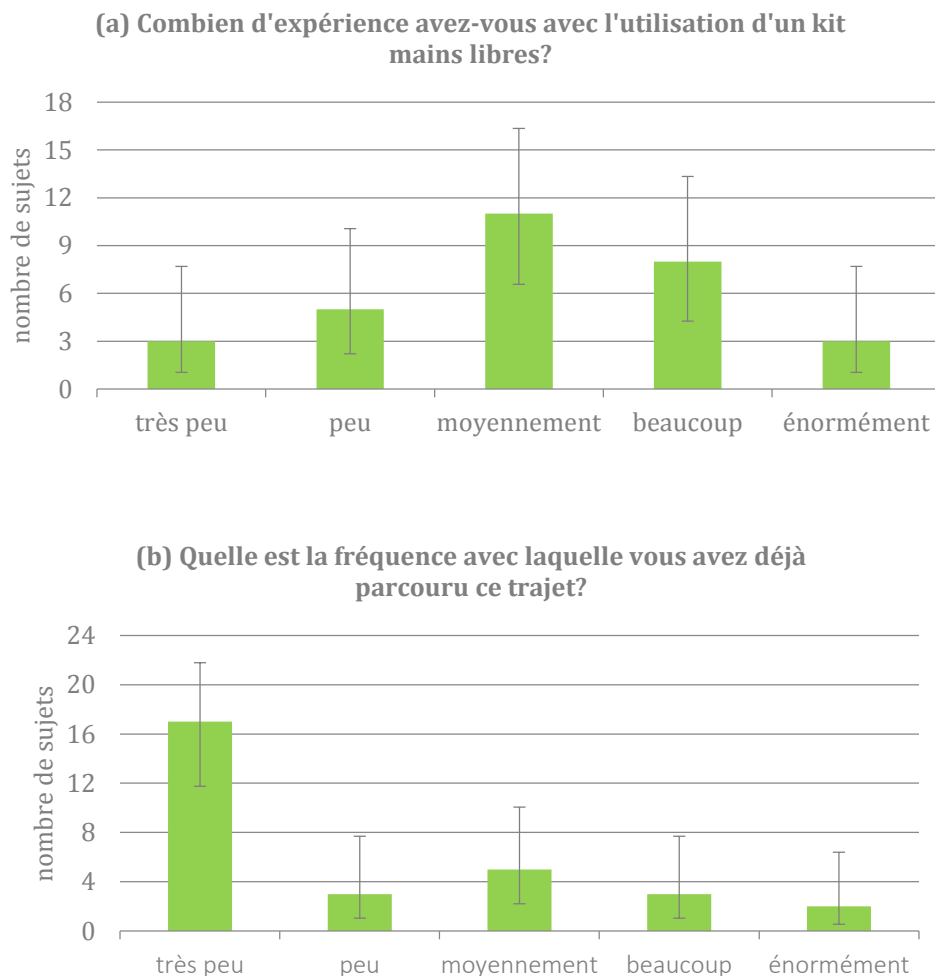
2 MÉTHODE

2.1 Echantillon

Le recrutement de sujets, la réalisation de l'expérience et une partie du traitement des données ont été assurés par le bureau d'études de marché Profacts sur la base de spécifications de l'IBSR.

L'échantillon se composait de 30 participants (dont la moitié étaient des femmes) en possession d'un permis de conduire B (voiture). L'âge moyen de l'échantillon était de 33 ans (écart-type = 12 ans) et les sujets avaient en moyenne leur permis de conduire depuis 14 ans (écart-type = 11 ans). Les sujets n'ayant aucune expérience avec l'utilisation d'un kit mains libres ont été exclus. L'expérience des sujets avec l'utilisation d'un kit mains libres a été évaluée à l'aide d'une échelle à cinq points de « très peu » à « énormément ». Les scores à cette question sont illustrés dans le graphique supérieur (a) de la Figure 1. On peut déduire de ce graphique que la plupart des sujets (21 des 30) estimaient avoir moyennement à énormément d'expérience avec l'utilisation d'un kit mains libres. De plus, les sujets ont dû indiquer la fréquence avec laquelle ils avaient déjà parcouru le trajet, à l'aide d'une échelle à cinq points de « très peu » à « énormément ». Les scores de cette question sont illustrés dans le graphique inférieur (b) de la Figure 1. Il en ressort que la plupart des sujets (17 sur 31) n'avaient que très peu d'expérience avec cet itinéraire.

Figure 1. Expérience avec l'utilisation d'un kit mains libres (a) et expérience avec l'itinéraire parcouru (b) pour l'ensemble de l'échantillon.



Les barres d'erreur donnent les intervalles de confiance de 95 % conformément à la méthode des scores pour les paramètres binomiaux (Wilson, 1927).

2.2 Déroulement de l'expérience

Les participants ont été invités à se rendre chez Profacts, à De Pinte. Ces personnes n'avaient pas été informées à l'avance de la nature de l'expérience. Elles savaient uniquement qu'elles allaient devoir parcourir un itinéraire en voiture. A leur arrivée, les sujets ont signé un formulaire de consentement éclairé et pris place au volant de la voiture utilisée pour le test (une Renault Mégane). Le responsable de l'expérience s'est installé sur la banquette arrière et a donné les instructions au sujet. Il a expliqué au sujet qu'il allait devoir parcourir un itinéraire avec la voiture et que lors de celui-ci, les mouvements de ses yeux allaient être enregistrés à l'aide de lunettes. Le sujet a également été informé du fait qu'il allait recevoir un appel téléphonique pendant le trajet et qu'il devrait y répondre à l'aide du kit mains libres.

Les lunettes de SensoMotoric Instruments (Eye Tracking Glasses 2.0, SMI, Teltow, Allemagne) ont ensuite été placées et préparées. La Figure 2 représente ces lunettes.

Figure 2. Illustration des lunettes de suivi oculaire (Eye Tracking Glasses 2.0).



source : <https://www.smivision.com>

Avant que les lunettes ne puissent enregistrer les mouvements des yeux, l'appareil a dû être calibré. Pour ce faire, les sujets ont dû regarder une image spécifique dans l'espace et il a été vérifié que les lunettes enregistraient effectivement ce point comme « regardé ». Les lunettes étaient reliées à l'aide d'un fil à un smartphone enregistrant toutes les données. Le smartphone était placé sur la banquette arrière et le fil de raccordement sur l'épaule des sujets afin de ne pas les gêner pendant la conduite. Plus loin dans le texte (2.3.1), nous reviendrons sur les aspects techniques des lunettes.

Le sujet a ensuite réalisé un court trajet d'adaptation pour se familiariser avec la voiture. Ce trajet a commencé sur le site de Profacts pour se terminer 3.4 km plus loin, à la sortie « De Pinte » de l'autoroute E17 en direction de la France. A la fin de ce trajet, il a été demandé aux sujets s'ils étaient prêts à prendre l'autoroute avec la voiture. Tous les sujets ont répondu par l'affirmative. Les sujets ont ensuite dû monter sur l'autoroute et prendre la sortie « Kruishoutem ». Après avoir quitté l'autoroute, les sujets ont dû refaire le même trajet en sens inverse, de la sortie « Kruishoutem » à la sortie « De Pinte ». Les deux trajets (aller et retour) s'étaient sur une distance de 13,7 kilomètres et ont été parcourus en journée (entre 07h00 et 18h00), dans un trafic modéré sur une autoroute à trois bandes de circulation où la vitesse est limitée à 120 km/h.

La première moitié des sujets a reçu pendant le trajet aller un appel téléphonique auquel elle a dû répondre à l'aide du kit mains libres. L'autre moitié des sujets a reçu cet appel pendant le trajet retour. Chaque sujet a donc parcouru un trajet d'essai (avec conversation à l'aide d'un kit mains libres) et un trajet de contrôle (sans conversation téléphonique). Il se peut que, sachant que les mouvements de leurs yeux sont enregistrés, les sujets ne se comportent pas naturellement. Nous avons cependant pu remédier à cette objection grâce aux modalités de cette étude. Grâce à l'utilisation de mesures répétées, ce type d'influence

se retrouvera dans les deux conditions (tant pendant le trajet d'essai que pendant le trajet de contrôle) et n'aura donc probablement aucune influence sur la différence entre les deux conditions.

Le responsable de l'expérience, qui se trouvait sur la banquette arrière, manipulait le GSM. Cet appareil était relié par Bluetooth aux écouteurs et à un microphone (situé dans le miroir de courtoisie du pare-soleil côté conducteur) dans la voiture. Le sujet ne devait donc manipuler aucun appareil. Les sujets ont été appelés par une collaboratrice de Profacts qui a posé plusieurs questions. Les questions étaient les mêmes pour chaque sujet. La collaboratrice a posé des questions concernant leurs loisirs, le lieu de leurs dernières vacances, leurs projets de vacances futurs et s'ils avaient des enfants. Les entretiens dépendaient dès lors des réponses des sujets et la conversation est restée aussi naturelle que possible. Vu que l'étude a été menée dans une situation de conduite réelle, nous n'avons volontairement pas voulu mener de conversation téléphonique induisant une charge cognitive importante et/ou très émotionnelle. Cette dernière aurait augmenté le risque de conduite dangereuse (et les conséquences qui en découlent). L'entretien a duré tout le trajet d'essai (environ 8 minutes).

A la fin de l'expérience, les sujets ont reçu une indemnisation de 40 euros.

2.3 Variables de comportement mesurées

2.3.1 Lunettes de suivi oculaire

Les lunettes que portaient les sujets pendant l'expérience sont équipées de 2 types de caméra. La caméra d'environnement se trouve à l'avant des lunettes et enregistre l'image que les sujets voient à travers les lunettes. Cette caméra permet d'enregistrer 30 images par seconde avec une résolution de 960 x 720 pixels par image. La portée du champ de vision enregistré par la caméra est de 60° sur l'axe horizontal et 46° sur l'axe vertical.

En marge de cette caméra d'environnement, les lunettes sont également équipées de deux caméras de mouvement des yeux (une par œil). Ces caméras sont situées à l'intérieur des lunettes et enregistrent les mouvements des yeux du sujet. La définition de l'axe du regard des yeux repose sur la méthode de position relative du reflet cornéen et de la pupille (PCCR). Dans la méthode PCCR, une lumière infra-rouge est projetée sur l'œil. Les réflexions de cette lumière sur la cornée et la pupille donnent une image de contraste qui est filmée par les caméras de suivi oculaire. Les images sont obtenues à une cadence d'échantillonnage de 60 Hz par œil. La portée des mouvements oculaires enregistrés est de 80° sur l'axe horizontal et 60° sur l'axe vertical. L'utilisation d'algorithmes spécifiques sur cette image de contraste permet de calculer l'axe du regard des deux yeux. L'axe du regard est mesuré avec une précision élevée de 0.5 ° sur toutes les distances. Ce qui signifie que la différence entre le point que le sujet fixe vraiment et le point mesuré par les lunettes est de maximum 0.5°.

2.3.2 Variables de mouvements oculaires

Notre vision n'est nette que dans la partie centrale de notre rétine, appelée fovéa. Ce qui signifie que pour obtenir une image claire, nous devons la fixer avec la fovéa. Nos yeux bougent donc constamment pour fixer des nouveaux points dans l'environnement et les rendre nets. Ces mouvements peuvent être comparés à des petits sauts. Ces sauts portent le nom de saccades et sont extrêmement rapides (de 10 à 100ms), raison pour laquelle nous n'en avons généralement pas conscience (par ex. Land, 2006). Les périodes stables entre deux saccades successives portent le nom de fixations et durent un peu plus longtemps que des saccades (minimum 100 à 200ms) (Salvucci & Goldberg, 2000).

Dans cette étude, nous avons étudié les fixations et saccades des sujets pendant l'expérience. Comme indiqué ci-avant, nous nous sommes principalement intéressés à la fixation d'informations pertinentes pour le trafic. C'est la raison pour laquelle nous avons subdivisé l'environnement de conduite en 7 catégories ou zones pertinentes. Ces 7 zones sont représentées dans la Figure 3. Les voici :

- ▶ Panneaux: tous les panneaux qui jonchent le trajet sont pris en compte. Aucune distinction n'est dès lors établie entre panneaux de signalisation et panneaux d'information installés le long de la route, ni entre différents types de panneaux de signalisation
- ▶ Le rétroviseur arrière de la voiture
- ▶ Le rétroviseur gauche de la voiture

- ▶ Le rétroviseur droit de la voiture
- ▶ La route: seule la portion asphaltée de la route a été prise en compte
- ▶ Autres véhicules: tous les véhicules en dehors du véhicule propre visibles sur le trajet ont été pris en compte.
- ▶ Le compteur de vitesse dans la voiture.

Figure 3. Représentation des 7 zones pertinentes en fonction desquels les mouvements oculaires ont été enregistrés.



Pour examiner les fixations, les images de la caméra d'environnement et les images des mouvements oculaires ont été combinées en une vidéo « overlay » à l'aide du logiciel d'analyse « BEGaze 3.2 » de SMI. Cette vidéo overlay a été visionnée et chaque fixation codée manuellement comme appartenant à l'un des 7 zones pertinentes ou à une catégorie résiduelle (les fixations ne concernant pas une zone pertinente). Sur la base de ce codage, nous avons ensuite été en mesure de calculer le nombre total de fixations sur une zone pertinente et la durée de ces fixations.

Nous nous sommes également intéressés au schéma de balayage visuel des sujets. Nous avons pour ce faire fait appel à deux variables supplémentaires: la durée de saccade et la densité des coordonnées de l'œil.

La méthode utilisée pour l'enregistrement des mouvements oculaires présente comme inconvénient que les mouvements de la tête ne sont pas pris en compte et que, par conséquent, la séquence des fixations ne peut être examinée que comme des coordonnées dans le champ de vision et pas dans l'espace réel. Ce que chaque personne voit dans son champ de vision est en effet en large mesure défini par les mouvements de la tête effectués. Une personne faisant de grands mouvements de la tête balayera logiquement une plus grande portion de l'espace réel qu'une personne faisant peu de mouvements de la tête. Le temps qui s'écoule entre deux fixations successives (qu'on appelle la durée de saccade) peut cependant nous offrir (indirectement) des informations concernant la distance entre des fixations dans l'espace réel. Les durées des saccades présentent en effet un lien linéaire avec la distance entre deux fixations (Baloh et al., 1975). L'on peut également partir du principe qu'un mouvement de la tête entre deux fixations successives donne lieu à une saccade plus longue. Une réduction ou augmentation des durées de saccades peut donc être considérée comme une preuve de schéma de balayage respectivement plus ou moins concentré.

Pour terminer, nous avons également examiné la densité verticale et horizontale des fixations dans le champ de vision. Pour minimiser l'influence des mouvements de la tête, nous avons, dans le cadre de cette analyse, procédé à une sélection de fixations par le pare-brise du véhicule. Un tracé de densité a été créé pour chaque sujet et chaque trajet (voir Figure 7 pour plusieurs exemples). Sur la base d'un examen de ces graphiques apparaissent les coordonnées x et y (et donc à quel niveau du champ visuel) autour desquelles

se trouvent la plupart des fixations. Par exemple, une densité élevée au niveau des coordonnées (0,0) indique que les sujets ont principalement fixé le point central de leur champ visuel. Un schéma plus diffus indique que le sujet a davantage regardé autour de lui.

Ces graphiques de densité permettent de calculer la surface de densité formée par une proportion spécifique des fixations (par ex. Steinman, 1965). Pour ce faire, il convient de tout d'abord dessiner sur les graphiques de densité les contours qui englobent une certaine proportion de fixations. Par exemple, le contour $p = 0.50$ englobe 50 % de toutes les fixations. On calcule ensuite la surface que couvre ce contour. Une surface plus petite correspond à un schéma plus concentré. Des yeux qui vagabondent plus donnent lieu à une surface plus grande. Conformément à la méthode de Crossland et al. (2004), nous utiliserons la surface englobée par le contour $p = 0.68$. La surface que couvre ce contour englobe donc 68 % des fixations. Si l'utilisation du kit mains libres induit une vision tunnel, nous devrions obtenir des surfaces de densité plus petites dans cette condition.

2.3.3 Variables de conduite

En marge des variables des mouvements oculaires, 4 variables de conduite ont été enregistrées:¹

- ▶ La vitesse moyenne du sujet en km/h
- ▶ Le temps passé sur chacune des trois bandes, exprimé en secondes
- ▶ Le nombre de changements de bande par minute
- ▶ La distance de dépassement par rapport au véhicule qui précède

Les données liées à la vitesse ont été enregistrées indépendamment des lunettes de suivi oculaire, et plus précisément à l'aide d'une black box (Geotab GO7 2G, <https://www.geotab.com/>) reliée au port de diagnostic embarqué (OBD) de la voiture. La vitesse a été tirée des données GPS. Pour le calcul de la vitesse moyenne, seul le trajet sur l'autoroute a été pris en compte et les données du début et de la fin de ces trajets ont été filtrées (environ 500 mètres). Ce filtrage a été instauré car le début et la fin sont sujets à respectivement de grandes accélérations (montée sur l'autoroute) et de forts ralentissements (sortie de l'autoroute). La vitesse moyenne a ensuite été calculée pour chaque sujet et pour chaque trajet (d'essai et de contrôle). Ce calcul a donné lieu à deux scores de vitesse par sujet, exprimés en kilomètres par heure (km/h).

Ensuite, il a été procédé pour chaque sujet à un calcul du temps passé sur chacune des 3 bandes. Nous avons déterminé un score de différence illustrant la différence entre le temps total (en secondes) passé sur une bande spécifique pendant le trajet d'essai et le temps total passé sur cette même bande pendant le trajet de contrôle (en secondes). Un score positif indique donc que plus de temps a été passé sur cette

¹En marge des variables oculaires et de conduite, une tâche de détection visuelle a également été organisée à la fin de l'expérience. Lors de cette tâche, des photos ont été montrées aux sujets. La moitié de ces photos avaient été prises pendant les trajets effectués, l'autre moitié en dehors. Les sujets devaient indiquer pour chaque photo si elle avait été prise ou non sur leur trajet. Sur la base de ces données, nous avons pu évaluer pour chaque sujet la probabilité de reconnaître une photo comme effectivement « vue » (hit ratio) et la probabilité de reconnaître par erreur une photo comme « vue » (alarm ratio). L'idée initiale était de comparer ces scores pendant le trajet d'essai et pendant le trajet de contrôle pour chaque sujet. Malheureusement, en raison d'une erreur technique, la collecte des données pour cette tâche n'a eu lieu que pour les photos prises pendant le premier trajet. Ce qui signifie que pour chaque sujet, nous ne disposons de mesures que pour une seule condition: soit le trajet d'essai, soit le trajet de contrôle (en fonction du trajet parcouru en premier lieu). Nous ne pouvons dès lors pas comparer les valeurs pour les deux trajets pour les mêmes sujets mais uniquement entre sujets. Vu que le hit ratio et le alarm ratio sont très individuels (ils dépendent de la stratégie de réaction du sujet, par ex. Ingham, 1970), une étude entre sujets n'est pas idéale pour évaluer les différences entre deux conditions. De plus, nous sommes en présence d'un échantillon limité (en raison de la comparaison entre sujets, nous ne gardons que 15 sujets par condition). Ayant des doutes concernant la fiabilité de ces données, nous avons dès lors décidé de ne pas approfondir ces résultats.

bande pendant le trajet d'essai que pendant le trajet de contrôle. Ce procédé a donné lieu à 3 scores de différence par sujet.

En troisième lieu, le nombre de changements de bande a été mesuré par trajet et par sujet. Un changement de bande est défini comme le passage de la bande de droite vers la bande du milieu, de la bande du milieu vers la bande de gauche, de la bande de gauche vers la bande du milieu ou de la bande du milieu vers la bande de droite. Ce chiffre a ensuite été corrigé en fonction de la vitesse à laquelle le sujet a parcouru les trajets. Un sujet roulant plus lentement restera en effet plus longtemps sur la route et aura donc eu davantage l'occasion de changer de bande. Pour prendre cet élément en compte, le nombre total de changements de bande a été divisé par la vitesse moyenne pendant le trajet concerné. Pour terminer, cette valeur a été convertie en nombre de changements de bande par minute.

Pour terminer, la distance de dépassement a été calculée pour chaque sujet. Il s'agit de la distance laissée entre le véhicule propre et le véhicule que l'on dépasse au moment où la manœuvre de dépassement commence. Le point de départ de la manœuvre de dépassement est ici défini comme le changement de bande. Pour chaque manœuvre de dépassement, la distance par rapport au véhicule qui précède a été reclassée à l'aide de 4 catégories. Dans ce cadre, la catégorie 1 traduit une distance inférieure ou égale à 5 mètres, la catégorie 2 une distance entre 5 et 10 mètres, la catégorie 3 une distance entre 10 et 20 mètres et pour terminer la catégorie 4 une distance de plus de 20 mètres. Ensuite, le nombre de changements de bande dans chaque catégorie a été compté pour chaque trajet et a été divisé par le nombre total par sujet et par trajet pour obtenir un score moyen.

Le temps passé sur les 3 bandes, le nombre de changements de bande et la distance de dépassement par rapport au véhicule qui précède ont été codés à l'aide d'une observation des images de la caméra d'environnement.

3 ANALYSE DES DONNEES ET RESULTATS

Quatre sujets ont été exclus de la suite des analyses en raison de problèmes techniques survenus pendant l'enregistrement des mouvements des yeux pendant l'expérience. L'échantillon final se composait donc de 26 sujets pour l'analyse des variables des mouvements des yeux.²

Les analyses des modèles abordés plus loin dans ce texte ont été effectuées à l'aide du package lme4 (Bates et al., 2015) disponible dans le logiciel de statistiques R (R Core Team, 2016). Nous avons vérifié si l'effet de la condition (mains libres ou contrôle) était significatif. Dans le reste de ce texte, nous appliquerons un taux de signification de 5 % (soit une valeur p de 0.05).

3.1 Fréquence de fixation

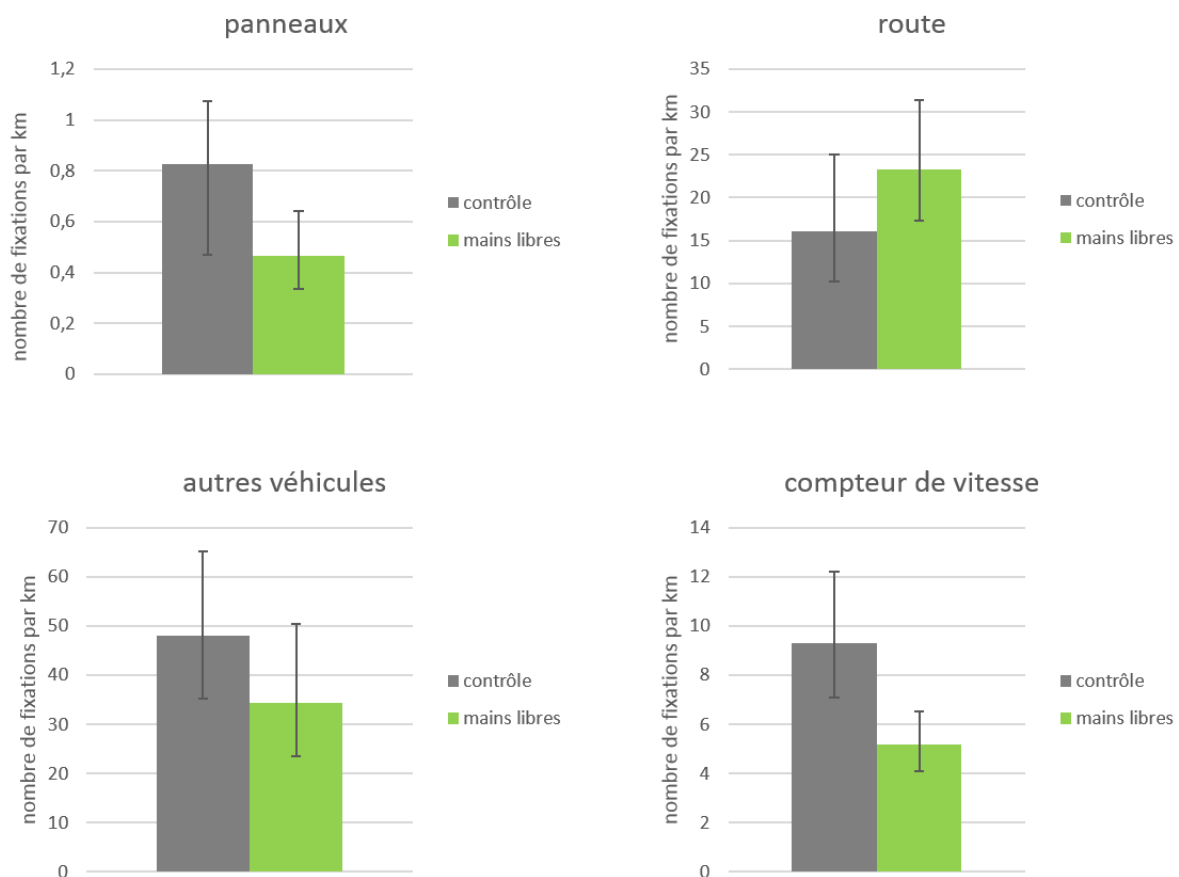
Les fixations individuelles de chaque sujet ont tout d'abord été groupées (1) par condition, (2) par zone pertinente et (3) par kilomètre parcouru. Pour ce dernier point, il a été fait appel aux bornes kilométriques présentes sur l'autoroute et visibles dans la vidéo overlay. L'effet de la condition a été évalué séparément pour chaque zone pertinente à l'aide d'un ANOVA avec effets aléatoires du sujet concernant (a) le nombre de fixations (l'intercept) et (b) l'effet de la condition. Un modèle log-normal a été évalué, dans lequel l'effet aléatoire du sujet dans le prédicteur linéaire a été estimé à l'aide de distributions normales. L'ajout d'effets aléatoires par sujet était nécessaire car chaque sujet a participé aux deux conditions de l'expérience (mains libres et contrôle). Un problème en découle lors de l'application de modèles linéaires standard (modèles n'intégrant pas des variables aléatoires). L'une des principales hypothèses de ces modèles standard est que les observations ne peuvent être corrélées (indépendance des observations). Mais vu que les mesures

²L'analyse des variables de conduite (le temps passé sur les 3 bandes, le nombre de changements de bande et la distance de dépassement par rapport au véhicule qui précède) a été effectuée à l'aide de l'analyse des images de la caméra d'environnement des lunettes de suivi oculaire. En raison de problèmes techniques au niveau des lunettes, les variables des mouvements des yeux de 4 sujets n'ont pas pu être utilisées. Les images de la caméra d'environnement étaient cependant disponibles pour un de ces sujets. Les variables de conduite ont dès lors tout de même pu être calculées pour ce sujet. Dès lors, l'analyse des variables des mouvements des yeux s'est basée sur un échantillon de 26 sujets et celle des variables de conduite sur 27 sujets. Les données liées à la vitesse ont été enregistrées indépendamment des lunettes, à savoir à l'aide d'une black box. Pour l'analyse de la vitesse, tous les sujets (30) ont par conséquent été repris.

effectuées pendant le trajet d'essai et pendant le trajet de contrôle concernent les mêmes sujets, on peut supposer que ces mesures sont corrélées. En ajoutant deux variables aléatoires (une concernant l'intercept et une concernant la condition), la variation aléatoire entre sujets est prise en compte et l'effet de la condition sur la variable dépendante (la fréquence de fixation) peut donc être évalué de manière plus nette.³

Le nombre de fixations réalisées par les sujets varie de manière significative entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle pour 3 des 7 zones pertinentes. Comme on peut le voir dans la Figure 4, les conducteurs ont moins fixé les panneaux, autres véhicules et le compteur de vitesse pendant le trajet d'essai que pendant le trajet de contrôle. De plus, on découvre un effet marginalement significatif pour le nombre de fixations sur la route. Pendant le trajet d'essai, il y a eu, et cela peut paraître surprenant au premier abord, *plus* de fixations sur la route en comparaison au trajet de contrôle. Les graphiques de la Figure 4 illustrent à chaque fois l'effet de la condition variable fixe (telle qu'estimée à l'aide des modèles linéaires mixtes). En marge de cet effet, l'intervalle de confiance de 95 % apparaît également. En ce qui concerne le rétroviseur arrière, celui de gauche et celui de droite, aucune différence notable en termes de fixations n'a été observée entre les deux trajets. Vous trouverez un aperçu complet du nombre de fixations par km et les statistiques de comparaison inhérentes dans le Tableau 1.

Figure 4. Nombre de fixations par km sur les zones pertinentes dans lesquels une différence (marginalement) significative entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.



Les barres d'erreur donnent des intervalles de confiance à 95 %.

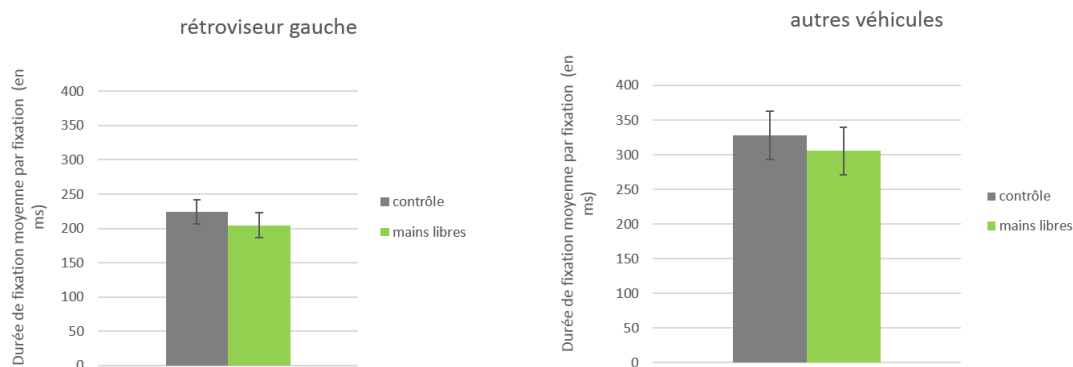
³En principe, les fréquences de fixation peuvent également être modélisées sans subdivision par kilomètre. La subdivision par kilomètre permet d'accroître la résolution des données par sujet, condition et zone pertinente, offrant un aperçu de la répartition des fréquences de fixation dans ces cellules du design.

3.2 Durées des fixations

Les durées des fixations⁴ ont été analysées comme des moyennes par sujet, condition, zone pertinente et kilomètre et ont été analysées à l'aide d'un modèle similaire à celui des fréquences de fixation. La seule différence était la supposition d'une distribution normale.

Les résultats des analyses de la durée de fixation moyenne sont illustrés dans la Figure 5.

Figure 5. Durée de fixation moyenne en millisecondes sur les zones pertinentes dans lesquels une différence (marginale) significative entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.



Les barres d'erreur donnent des intervalles de confiance à 95 %.

Il en ressort que les fixations du rétroviseur gauche étaient plus courtes pendant le trajet d'essai que pendant le trajet de contrôle. De plus, une tendance similaire a été identifiée concernant la durée de fixation moyenne d'autres véhicules. Lors du trajet d'essai, les fixations sur d'autres véhicules étaient moins longues que lors du trajet de contrôle. En ce qui concerne les autres zones pertinentes, aucune différence en termes de durée de fixation n'a été mesurée entre les deux trajets. Vous trouverez un aperçu complet de la durée de fixation moyenne sur chaque zone pertinente et les statistiques correspondantes dans le Tableau 1.

Tableau 1: Nombre de fixations par kilomètre et durée de fixation moyenne en ms sur tous les zones pertinentes.⁵

Zones pertinentes	Nombre de fixations (par km)			Durée de fixation moyenne (en ms)		
	contrôle	mains libres	statistiques de comparaison	contrôle	main libres	statistiques de comparaison
panneaux	0.82	0.47	$z = -2.63, p = 0.01$	267.74	261.02	$F(1, 22.62) = 0.21, p = 0.65$

⁴Le choix pour des moyennes (au lieu de fixations individuelles) a été posé pour deux raisons. Tout d'abord, le volume de données s'en trouve ainsi équilibré sur les sujets (c'est-à-dire qu'il y a un nombre égal de points de données par sujet, indépendamment des différences en termes de nombre total de fixations par sujet). Ensuite, la corrélation sérielle des fixations individuelles s'en trouve ainsi à tout le moins en partie compensée. À des fins de contrôle, les analyses ont également été réalisées au niveau des fixations individuelles, les résultats étant pondérés sur la base du nombre de fixations. Ces analyses n'ont eu aucun impact sur les conclusions.

⁵Les degrés de liberté associés aux tests F ont été approchés à l'aide de l'approche Satterthwaite.

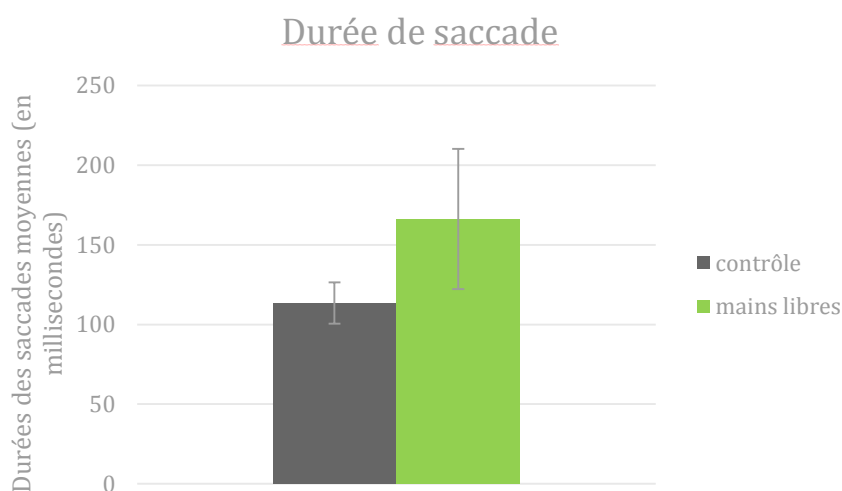
rétroviseur arrière	2.58	2.29	$z = -0.57, p = 0.57$	206.08	201.00	$F(1, 16.43) = 0.27, p = 0.61$
rétroviseur gauche	4.02	3.89	$z = -0.24, p = 0.81$	224.15	204.74	$F(1, 25.30) = 5.59, p = 0.03$
rétroviseur droit	0.73	0.65	$z = -0.50, p = 0.62$	211.46	206.42	$F(1, 17.67) = 0.17, p = 0.69$
la route	16.02	23.28	$z = 1.85, p = 0.06$	277.58	293.46	$F(1, 25.23) = 0.86, p = 0.36$
autres véhicules	47.94	34.41	$z = -2.54, p = 0.01$	327.63	305.35	$F(1, 25.52) = 3.55, p = 0.07$
compteur de vitesse	9.31	5.17	$z = -6.58, p < 0.001$	183.19	177.65	$F(1, 23.13) = 0.97, p = 0.33$

3.3 Schéma de balayage visuel

Les durées des saccades ont été analysées comme des moyennes par sujet, condition et kilomètre⁶, indépendamment des zones pertinentes. Comme indiqué ci-avant, l'analyse avait pour but d'examiner l'impact de la condition sur la distance entre les fixations dans l'espace réel, indépendamment du sujet des fixations. Le modèle utilisé était identique à celui des durées de fixation moyennes.

Même en ce qui concerne le schéma de balayage visuel, des différences ont été mises au jour entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. Il ressort de la Figure 6 que les saccades étaient nettement plus élevées pendant le trajet d'essai (166.23ms) que pendant le trajet de contrôle (113.56ms) ($F(1, 21.22) = 5.67, p = 0.03$). On peut en déduire que des sauts plus grands dans le champ visuel ont été effectués pendant le trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle.

Figure 6. Durées des saccades moyennes pendant le trajet d'essai et le trajet de contrôle.



Les barres d'erreur donnent des intervalles de confiance à 95 %.

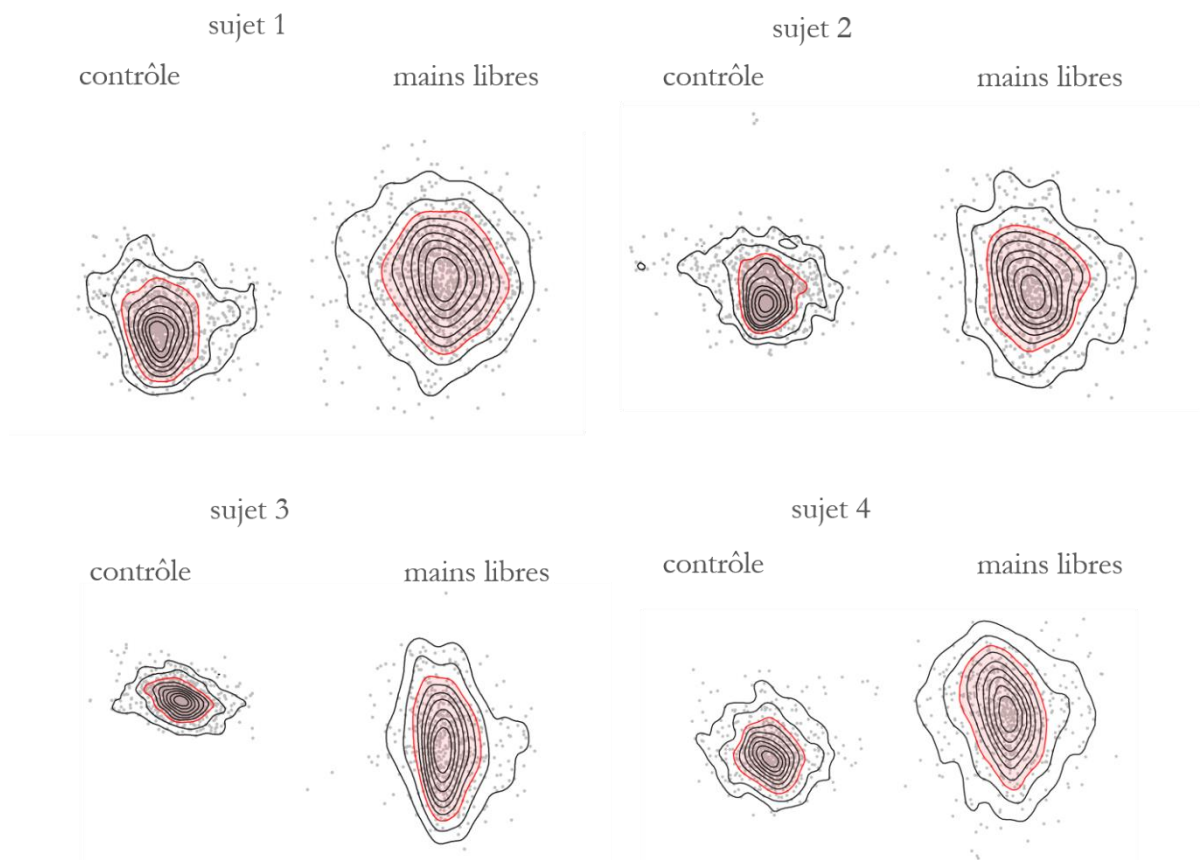
La répartition spatiale des fixations à travers le pare-brise a été modélisée par sujet et par condition à l'aide de la technique non paramétrique baptisée *kernel density estimation*. Il s'agissait plus particulièrement ici de la densité des fixations « sur la route », « sur d'autres véhicules » et dans une catégorie résiduelle (fixations à travers le pare-brise ne concernant ni la route ni d'autres véhicules). L'estimation a été réalisée à l'aide du package ks (Duong, 2017) dans R. La matrice de largeur de bande a été sélectionnée par le biais d'une validation croisée (Duong, & Hazelton, 2005). Pour quantifier le schéma de balayage visuel, la surface du

⁶Trois sujets ont présenté des valeurs extrêmes (intercept). Ils ont par conséquent été exclus de l'analyse des saccades.

contour de densité $p=0.68$ a été calculée pour chaque sujet et pour chaque condition. Ces surfaces ont ensuite été comparées à l'aide d'un test de Wilcoxon Mann-Whitney (par ex. Crossland et al., 2004).

La Figure 7 reprend à titre d'illustration les graphiques de densité pour le trajet de contrôle (gauche) et le trajet d'essai (droite) pour 4 sujets. Le contour $p = 0.68$ est représenté dans tous les graphiques à l'aide d'une ligne rouge. L'inspection de ces graphiques de densité confirme la conclusion de l'analyse des durées des saccades. La surface que couvre le contour de densité $p = 0.68$ présente en effet une différence notable entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle ($V = 277, p = 0.004$). La surface est en effet plus grande pendant le trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle. Cette différence indique que les fixations étaient moins concentrées pendant le trajet d'essai et que les sujets regardaient davantage autour d'eux pendant ce trajet.

Figure 7. Graphiques de densité pendant le trajet de contrôle et le trajet d'essai de 4 sujets à titre d'illustration.



Les contours de densité illustrés sont les suivants (de l'intérieur vers l'extérieur) : 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.68 (en rouge), 0.70, 0.80 et 0.90. La surface colorée représente la surface englobée par le contour $p = 0,68$ et comparée entre les deux conditions dans l'analyse décrite ci-avant.

3.4 Variables de conduite

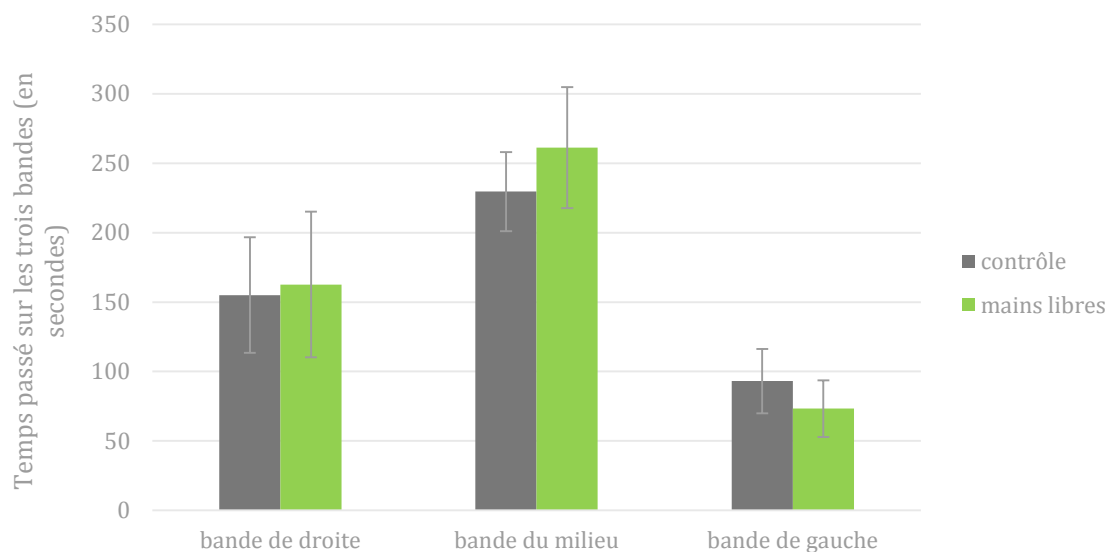
Comme indiqué ci-avant, nous avons testé l'impact sur les variables de conduite suivantes : la vitesse, le temps passé sur chacune des 3 bandes de circulation, le nombre de changements de bande et la distance avec la voiture qui précède lors d'un dépassement.

La vitesse moyenne a été comparée entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle à l'aide d'un test de Wilcoxon Mann-Whitney. Le choix s'est porté sur ce test car les différences entre les mesures appariées n'étaient pas réparties normalement selon le test Shapiro-Wilk ($W(30) = 0.84, p < 0.001$). Aucune différence notable n'a été observée en termes de vitesse entre les deux conditions. La vitesse moyenne pendant le trajet d'essai était de 110 km/h et celle du trajet de contrôle de 112 km/h.

Pour l'analyse du temps passé sur les différentes bandes, une analyse de variance multivariée (ou MANOVA) a été réalisée. L'adjectif multivarié fait référence, par opposition à un modèle univarié, au fait que les données sont modélisées en même temps à partir de plusieurs variables dépendantes. Le but est d'intégrer la relation sous-jacente entre ces variables dépendantes (interaction des variables). Vu que nos mesures (3 scores de différence) dépendent les unes des autres (passer plus de temps sur une bande induit automatiquement une réduction du temps passé sur les autres bandes), il s'agit de la méthode adéquate.

Dans l'analyse, il a été testé si la valeur des 3 scores de différence présentait un écart significatif par rapport à 0. Ce qui revient à déterminer s'il est question d'une différence notable entre les deux conditions (essai et contrôle) pour chacune des 3 bandes. On constate que les sujets ont passé autant de temps sur la bande de droite pendant les deux trajets. On observe cependant une différence marginalement significative au niveau du temps passé sur la bande du milieu et la bande de gauche pendant les 2 trajets. Pendant le trajet d'essai, plus de temps a été passé sur la bande du milieu et moins sur la bande de gauche en comparaison au trajet de contrôle. Le temps passé sur les 3 bandes est illustré dans la Figure 8.

Figure 8. Temps passé sur les 3 bandes pendant le trajet d'essai et le trajet de contrôle (en secondes).



Les barres d'erreur donnent des intervalles de confiance à 95 %.

Le nombre de changements de bande par minute a été comparé entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. Le choix de cette statistique de test dépend du fait que les différences appariées sont réparties normalement ou non. Sur la base d'un test Shapiro-Wilk, il apparaît que les différences appariées étaient réparties normalement ($W(27) = 0.98, p = 0.90$). Par conséquent, un test T de moyenne d'échantillons appariés a été utilisé pour identifier la présence d'une différence significative entre les deux conditions. Aucune différence majeure n'a été observée concernant le nombre de changements de bande entre les deux trajets. En moyenne, les sujets ont changé 1,56 fois de bande par minute pendant le trajet d'essai et 1,74 fois pendant le trajet de contrôle.

Enfin, pour l'analyse de la distance de dépassement, une fonction de distribution cumulative a été utilisée. Il s'agit d'une forme spécifique de modèle linéaire mixte tel que décrit ci-avant dans les analyses des variables des mouvements des yeux. La principale différence avec les modèles décrits ci-avant est que la variable dépendante est dans ce cas une variable catégorielle et non une variable mesurée au niveau d'un intervalle. La distance de dépassement n'était en effet pas exprimée en mètres mais en catégories (par ex. catégorie 1 = distance de dépassement ≤ 5 mètres). Les variables reprises sont identiques aux modèles susmentionnés: la condition de variable fixe et les 2 variables aléatoires associées au sujet. Pour cette analyse, il a été fait appel au package R ordinal (Christensen, 2015).

La distance par rapport au véhicule qui précède lors du dépassement semble ne pas diverger entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. La plupart des manœuvres de dépassement effectuées avaient une distance

de plus de 20 mètres par rapport au véhicule qui précède. Pratiquement aucune manœuvre de dépassement n'a été effectuée lorsque la distance par rapport au véhicule qui précède était inférieure ou égale à 5 mètres.

Vous trouverez un aperçu de toutes les variables de conduite dans le Tableau 2.

Tableau 2: Aperçu des variables de conduite pendant le trajet d'essai et le trajet de contrôle.

Variables de conduite			
	contrôle	mains libres	statistique de
Vitesse	112.04 km/u	110.31 km/u	$V = -1.04, p = 0.30$
Temps passé sur les 3 bandes de circulation (en secondes)			
bande de droite	155.07	162.63	$t(26) = 0.42, p = 0.68$
bande du milieu	229.56	261.15	$t(26) = 1.80, p = 0.08$
bande de gauche	93.17	73.33	$t(26) = -1.97, p = 0.06$
Nombre de changements de bande par minute	1.74	1.56	$t(26) = 1.20, p = 0.24$
Distance de dépassement (proportion par catégorie)			$Z = 0.68, p = 0.50$
catégorie 1: distance ≤ 5 mètres	0.02	0.00	
catégorie 2: $5 < \text{distance} \leq 10$ mètres	0.09	0.05	
catégorie 3: $10 < \text{distance} \leq 20$ mètres	0.32	0.38	
catégorie 4: distance > 20 mètres	0.58	0.58	

4 DISCUSSION

4.1 Aperçu des résultats

Les résultats de cette étude démontrent que l'utilisation d'un kit mains libres a une influence évidente sur le comportement au volant. Tout d'abord, il apparaît que lors de l'utilisation du kit mains libres, le conducteur **regarde moins les panneaux, les autres véhicules et le compteur de vitesse**. D'autre part, il **regarde davantage** la route (même si ce résultat n'est que marginalement significatif). De plus, les résultats ont démontré que le conducteur **fixait moins longtemps le rétroviseur gauche et les autres véhicules** (ce dernier point est marginalement significatif) pendant le trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle.

Les analyses des saccades et des densités des fixations démontrent que le schéma de balayage général varie entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. Pendant le premier, les saccades semblent plus longues que lors du second. Comme indiqué ci-avant, cet élément signifie que les sujets **balayent une plus grande partie du champ visuel pendant l'utilisation d'un kit mains libres**. Cette constatation se confirme par l'inspection des graphiques de densité. Il en ressort clairement que les sujets, pendant l'utilisation d'un kit mains libres, balayaient une partie bien plus large de leur champ visuel que pendant le trajet de contrôle.

On pourrait en déduire que cette attitude est bénéfique à la sécurité routière, vu que les conducteurs balayent apparemment une plus grande portion de leur champ visuel. Ce schéma de fixation n'implique cependant pas nécessairement un meilleur traitement des données. Tout dépend de la différence entre regarder et voir. Même si les fixations des yeux indiquent qu'une personne regarde quelque chose, rien ne dit qu'elle voit réellement ces informations. Si l'on regarde quelque chose en pensant à tout à fait autre chose, il est fort probable que les informations pertinentes nous échapperont. Ce phénomène porte le nom de « inattention blindness » (Mack & Rock, 1998) et survient fréquemment dans des accidents de type « looked-but-failed-to-see » (Herslund & Jorgensen, 2003), lors desquels un conducteur n'a pas perçu un danger spécifique (Velichkovsky et al., 2002).

En résumé : le conducteur regarde moins longtemps et moins souvent les informations pertinentes pour le trafic lorsqu'il utilise un kit mains libres en comparaison au trajet de contrôle. Le résultat selon lequel le conducteur regarde plus la route pendant le trajet d'essai (marginalelement significatif) semble au premier abord contraire à cette conclusion. Il semble en effet plausible qu'un conducteur fixe la route pour contrôler la position de son véhicule sur la route. D'un point de vue de la sécurité routière, ce point semble positif. Mais il se peut qu'il soit ici question d'un comportement de compensation. Les conducteurs savent qu'ils sont en train d'avoir une conversation téléphonique et qu'ils doivent davantage contrôler leur position sur la route. On estime cependant que, dans ce contexte « regarder davantage la route » doit être interprété différemment. Nous avons en effet également pu conclure que pendant le trajet d'essai, les conducteurs regardaient davantage autour d'eux que pendant le trajet de contrôle. Vu que le conducteur regarde davantage autour de lui (et le fait probablement également plus de façon non ciblée) pendant le trajet d'essai, il est possible d'affirmer que les yeux reposeront plus souvent sur la route. D'autres analyses, dans le cadre desquelles les fixations sur la route sont étudiées en détail (par ex. est-ce que ce sont les marquages routiers qui sont principalement fixés ou le schéma de fixation de l'ensemble de la route est-il diffus?) sont indiquées pour se prononcer sur ce point.

On peut pour l'instant en conclure que les fixations des yeux étaient plus diffuses lors de l'utilisation d'un kit mains libres et que le temps de fixation sur certaines sources d'informations pertinentes pour la circulation était réduit. Ces éléments semblent indiquer une observation moins ciblée ou moins active de la circulation pendant l'utilisation d'un kit mains libres.

En marge des différences en termes d'impact sur les variables oculaires, nous avons également constaté une influence de l'utilisation d'un kit mains libres sur les variables de conduite. Nous avons découvert que les conducteurs qui utilisaient le kit mains libres étaient plus enclins à rouler sur la bande du milieu et moins sur la bande de gauche. Cela signifie que le conducteur participe moins activement au trafic en utilisant un kit mains libres. Il reste en effet sur la même bande et ne se rabat pas sur la bande la plus à droite.

Les résultats de cette étude démontrent une nette influence de l'utilisation d'un kit mains libres sur plusieurs variables visuelles et (en moindre mesure) également sur des variables de conduite. Ces éléments suggèrent que l'utilisation d'un kit mains libres détourne l'attention accordée au trafic. Des études supplémentaires sont cependant nécessaires pour confirmer cette conclusion. Selon Lee, Young, et Regan (2008), la distraction consiste en: *“a diversion of attention away from activities critical for safe driving (riding or walking) toward a competing activity.”* Dans cette étude, nous avons clairement démontré qu'un changement au niveau du chemin de balayage intervenait pendant l'utilisation d'un kit mains libres. On ne peut cependant clairement en déduire que la fixation sur un même véhicule était moins fréquente ou qu'il y avait dans l'ensemble d'autres véhicules n'ayant pas été fixés. Nous ne savons pas non plus si ces véhicules étaient critiques du point de vue du trafic. Dans ce dernier cas seulement, nous pouvons en déduire que l'utilisation d'un kit mains libres se fait au détriment d'activités critiques à la sécurité routière. Une considération analogue peut être faite pour les fixations sur les panneaux. Aucune distinction n'a ici été établie entre les panneaux pertinents pour la sécurité routière et d'autres panneaux (par ex. panneaux publicitaires). Pour affirmer avec certitude que l'utilisation d'un kit mains libres est source de distraction, une analyse approfondie s'impose dès lors, dans laquelle chaque élément fixé doit être évalué séparément en termes de pertinence pour le trafic. Dans le cadre de ce projet, nous nous sommes également limités à la répartition sur la base de catégories a priori, mais il serait intéressant de procéder à des analyses plus approfondies dans une étude de suivi.

4.2 Comparaison avec des résultats d'autres études

L'étude actuelle était une étude expérimentale menée dans un contexte de conduite réel. Contrairement aux études en simulateur, celle-ci présente comme avantage qu'elle permet d'étudier le comportement de conduite dans un environnement naturel. De plus, grâce aux récentes évolutions technologiques, nous avons été en mesure d'enregistrer les mouvements des yeux des sujets pendant la conduite. Même s'il existe plusieurs études apportant des informations concernant la relation entre la réalisation d'une deuxième tâche auditive pendant la conduite sur route et des variables visuelles, nous n'avons trouvé aucune étude dont les modalités étaient similaires aux nôtres.

Les études source de conclusions concernant la relation entre l'utilisation d'un kit mains libres et des variables visuelles n'utilisent généralement pas de conversation téléphonique à proprement dit en tant que

tâche de distraction, mais une autre tâche auditive. Ainsi, plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer les effets de la discrimination de montrer ou réaliser une tâche de calcul sur le comportement visuel au volant (par ex. Tsai, 2007; Victor, 2005, Harbluk, 2007). Les résultats de ces études démontrent, conformément à nos résultats, que le conducteur fixe moins les informations pertinentes pour le trafic lors de l'exécution d'une deuxième tâche. Cependant, contrairement à nos résultats, ces études démontrent toutes qu'un rétrécissement du champ visuel intervient lorsqu'une tâche auditive secondaire est réalisée au volant. Vu qu'une conversation téléphonique peut également être considérée comme une tâche auditive secondaire, il est possible d'extrapoler ces résultats à l'utilisation d'un kit mains libres au volant. Sur la base des résultats susmentionnés, on devrait donc s'attendre, pendant l'utilisation d'un kit mains libres, également à un rétrécissement du champ visuel. Dans l'étude actuelle, nous avons cependant mis au jour des éléments montrant le contraire: le champ visuel observé est plus large pendant le trajet d'essai que pendant le trajet de contrôle.

Il y a plusieurs explications possibles à l'absence de rétrécissement du champ visuel dans cette étude. Il se peut que la conversation téléphonique n'ait pas induit une charge suffisante sur le sujet que pour provoquer un effet tunnel visuel. Les tâches auditives utilisées dans des études antérieures (résoudre des problèmes de calcul) peuvent éventuellement induire une charge cognitive plus importante qu'une conversation sur les vacances du sujet. Dans cette optique, il a déjà été démontré que la teneur d'un entretien avait une influence sur l'effet tunnel. Briggs et al. (2011) ont mis au jour dans leur étude de simulateur une différence au niveau du schéma de balayage visuel en fonction de la teneur émotionnelle de la conversation. De manière plus spécifique, les personnes qui avaient peur des araignées présentaient un effet tunnel visuel lorsqu'elles parlaient d'araignées, ce qui n'était pas le cas des personnes n'en ayant aucune crainte.

Ensuite, le contexte du trafic et les modalités de l'étude peuvent également avoir une influence sur nos résultats. Il semble en effet qu'en fonction des modalités de l'étude (en simulateur ou sur le terrain) et des conditions de circulation (routes rurales versus autoroutes), les effets d'une tâche auditive secondaire divergent. Le rétrécissement du champ visuel est apparu plus important sur les autoroutes simulées que sur les véritables autoroutes, mais aussi sur les routes rurales caractérisées par de nombreux virages en comparaison aux autoroutes (Victor, 2005). Les informations visuelles disponibles semblent également jouer un rôle. Ainsi, l'interférence d'une deuxième tâche sera plus marquée lorsque le sujet se trouve dans un environnement de conduite visuellement plus complexe (Lee et al., 2001).

Les possibilités susmentionnées pourraient expliquer l'absence de différence en termes de schéma de balayage visuel entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. De manière plus spécifique, le type de conversation (sur les loisirs, les vacances, les enfants), les conditions de circulation et les informations visuelles inhérentes (autoroute au trafic modéré) utilisés dans notre étude pourraient avoir induit une charge cognitive trop faible que pour observer un effet tunnel. Les résultats de l'étude actuelle démontrent cependant un **élargissement** du schéma de balayage pendant le trajet d'essai par rapport au trajet de contrôle. On peut l'expliquer par le fait que ce schéma de balayage est le reflet d'une stratégie de compensation. Le conducteur a conscience du caractère distrayant de la conversation et du fait que les mouvements de ses yeux sont enregistrés et tentera dès lors d'observer l'ensemble de son environnement visuel. Mais cela ne veut nullement dire que ces informations sont assimilées de manière plus consciente. D'autres études s'imposent pour apporter une réponse claire à ce niveau.

En ce qui concerne les variables de conduite, aucune diminution de la vitesse n'a été observée entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle. Ce résultat est en ligne avec d'autres études et a été expliqué dans des études antérieures par l'absence de stratégies de compensation (Ishigami & Klein, 2009). Le conducteur n'a en effet pas conscience du risque induit par l'utilisation d'un kit mains libres et ne va dès lors pas adapter sa vitesse en fonction. Cependant, il se peut ici également que les conditions de circulation aient joué un rôle. Auparavant, une diminution de la vitesse pendant l'utilisation d'un kit mains libres n'avait été observée que sur des routes rurales à limitations de vitesse élevées et dans des environnements urbains complexes (Törnros & Bolling, 2005; 2006). Lors de notre étude, une diminution de la vitesse n'était pas particulièrement judicieuse vu que le trafic était assez peu dense.

4.3 Besoin d'études complémentaires

Cette étude a été mise en place sous la forme d'un premier test destiné à étudier les effets de la distraction dans un contexte de conduite réel par le biais d'un enregistrement des mouvements des yeux. Dans cette

étude, une comparaison a uniquement été effectuée entre l'utilisation d'un kit mains libres et l'absence de conversation téléphonique. Pendant le trajet de contrôle, les sujets n'ont en effet mené aucune conversation téléphonique. Nous n'avons dès lors pas établi de comparaison directe entre une conversation téléphonique au volant avec ou sans kit mains libres. Il serait bien entendu intéressant d'également pouvoir se prononcer sur les différences entre une conversation téléphonique au volant avec et sans kit mains libres. Vu que la loi interdit de téléphoner au volant sans kit mains libres, une déviation (contrôlée et limitée) par rapport à la loi devrait être autorisée pour une étude de ce type, et un accord éthique spécifique devrait probablement également être obtenu. L'IBSR s'engage à évaluer la possibilité de réaliser une étude unique de ce type.

Dans la littérature, on retrouve également différentes études concernant la différence entre l'utilisation d'un kit mains libres et une conversation avec un autre passager. Vu que, pendant l'utilisation d'un kit mains libres, aucune manipulation d'un appareil est requise, la différence avec une conversation avec un passager n'est, au premier abord, pas importante. Mais selon certaines études, la principale différence entre l'utilisation d'un kit mains libres et une conversation avec un passager est le fait que le passager se trouve effectivement dans la voiture. Dès lors, ce passager pourra également suivre la circulation et adapter la conversation à des moments critiques. Il peut pour ce faire attirer de manière explicite l'attention du conducteur sur des dangers ou le faire de manière plutôt implicite en insérant des pauses ou en parlant plus lentement à l'approche de conditions de circulation denses (Drews et al., 2008). Les études mettant en avant les différences entre l'utilisation d'un kit mains libres et la conversation avec un passager ne sont pas univoques. Certaines études ont par exemple mis au jour une réduction du temps de détection similaire entre les deux (Consiglio et al., 2003; Horrey & Wickens, 2006) et aucune différence au niveau du nombre d'objets ratés dans le champ de vision périphérique (Horrey & Wickens, 2006). D'autres ont par contre démontré que les deux formes de conversation avaient une influence différente sur la conduite. Ainsi, les temps de réaction sont apparus plus longs pour les conducteurs utilisant un kit mains libres que pour les conducteurs menant une conversation avec un passager (Hunton & Rose, 2005). Il serait donc intéressant, pour des études complémentaires, de comparer directement entre elles ces différentes formes de conversation (appel au volant sans kit mains libres (moyennant approbation éthique), appel au volant à l'aide d'un kit mains libres et conversation avec un passager) et éventuellement avec d'autres sources de distraction cognitive (comme l'écoute de la radio).

Il semble également judicieux de mener des études supplémentaires sur les effets spécifiques de la nature de la conversation téléphonique. Comme indiqué ci-avant, la teneur de la conversation semble avoir un rôle sur le schéma de balayage visuel pendant la conduite. Une conversation plus lourde sur le plan émotionnel peut conduire à un rétrécissement plus marqué du champ visuel (Briggs et al., 2011). En marge de ces effets visuels, différents effets sur les variables de conduite ont également été mis au jour en fonction de la teneur de la conversation (Wester, et al., 2007, mais aussi Strayer & Johnston, 2001). Dans ce cadre, il apparaît que les effets de la distraction ne se limitent pas à la conversation téléphonique proprement dite. Jusqu'à 5 minutes après la fin de la conversation, une influence de la conversation téléphonique était remarquée (Redelmeier & Tibshirani, 1997). Une personne venant d'avoir une conversation téléphonique peut encore un peu réfléchir à celle-ci après avoir rattrapé, ce qui la distrait encore de la tâche de conduite. L'on peut en déduire qu'en fonction de la teneur de la conversation, le rôle de cet effet ultérieur sera différent.

Il serait également intéressant de varier les caractéristiques des conditions de circulation pour évaluer leurs effets. Cette étude a été réalisée sur une autoroute à trafic modéré. Il serait intéressant d'évaluer comment les effets varient en fonction du contexte, comme un contexte urbain et un trafic plus dense.

Pour terminer, la méthode d'étude actuelle se prête parfaitement à un examen des récentes évolutions technologiques de l'industrie automobile sur l'attention. Le nombre de situations dans lesquelles la voiture reprend (ou peut reprendre) les fonctions du conducteur sont de plus en plus nombreuses. De plus en plus de modèles sont désormais dotés de systèmes de stationnement automatique et de régulateur de vitesse adaptatif, et il est attendu que cette automatisation ira croissante dans les années à venir. On peut partir du principe que l'attention pour le trafic sera moins importante une fois que le conducteur aura un rôle moins actif à jouer. L'automatisation donne naissance à deux situations différentes. D'une part, la situation dans laquelle il est attendu du conducteur qu'il prête continuellement attention au trafic pour encore exercer une partie de la tâche de conduite. D'autre part, il y a des situations dans lesquelles le conducteur peut accorder son attention à une autre tâche. D'aucuns estiment que la voiture pourra même

devenir un lieu de travail. Dans le premier cas, l'attention permanente est cruciale. Dans le deuxième, le temps dont le conducteur a besoin pour passer d'une autre tâche à la tâche de conduite (et l'évaluation correcte des conditions de circulation qui n'ont pas été suivies constamment) est important. La méthode d'étude actuelle est idéale pour l'examen des effets de ces deux situations sur l'attention. Ces résultats sont précieux pour répondre à la question née du débat concernant la voiture autonome: dans quelles situations un conducteur peut-il/doit-il encore avoir le contrôle sur la voiture et comment le faire de manière efficace?

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les résultats de cette étude démontrent que l'utilisation d'un kit mains libres induit un changement du comportement au volant. Le conducteur fixe moins les informations pertinentes pour le trafic comme les panneaux, les autres véhicules et le compteur de vitesse pendant le trajet d'essai en comparaison au trajet de contrôle et fixe également moins longtemps le rétroviseur gauche pendant l'utilisation d'un kit mains libres. Une plus grande partie du champ visuel est également couverte pendant le trajet d'essai. L'ensemble de ces résultats suggère que les sujets regardent plus, mais aussi de manière moins ciblée, autour d'eux pendant l'utilisation d'un kit mains libres. Nous n'avons mis au jour aucune différence au niveau de la vitesse, de la distance de dépassement ni du nombre de manœuvres de dépassement entre les deux trajets mais bien une tendance accrue de conduite sur la bande du milieu et une tendance réduite de conduite sur la bande de gauche pendant le trajet d'essai.

Dans cette étude, l'utilisation d'un kit mains libres a créé un chemin de balayage moins pertinent. Cet élément n'a cependant pas immédiatement donné lieu à des situations de risque, car nous avons volontairement opté pour une situation relativement « sûre ». Une autoroute à trafic modéré induit ainsi moins de situations de conflit potentielles. Chacun va dans la même direction, il n'y a pas (ou peu) d'événements inattendus dans le champ de vision périphérique pouvant avoir un impact majeur et aucune manœuvre ne doit être réalisée...En d'autres termes, il s'agit d'une situation relativement simple en termes de technique de conduite. L'on peut également en déduire que ces mêmes erreurs au niveau du chemin de balayage peuvent induire un risque plus élevé en agglomération ou sur des routes secondaires.

Ces résultats devraient cependant permettre aux conducteurs de prendre conscience du fait que même l'utilisation d'un kit mains libres induit un certain risque. La plupart des personnes s'accordent sur les risques de l'utilisation d'un GSM au volant sans kit mains libres. Une récente mesure de l'attitude de l'IBSR a démontré que 91 % des personnes interrogées n'approuvaient pas l'utilisation du GSM au volant sans kit mains libres (Meesmann & Schoeters, 2016). Les personnes l'utilisant tout de même font souvent appel à des stratégies de compensation. Elles vont par exemple téléphoner pendant moins longtemps ou reporter l'appel à un moment où elles se trouvent sur un trajet plus calme (par ex. Dragutinovic & Divera, 2006). Vu que l'utilisation d'un kit mains libres est autorisée, on pourrait croire qu'elle est parfaitement sûre. Une mesure d'attitude européenne (Trigoso et al., 2016) a en effet démontré que l'impact de l'utilisation d'un kit mains libres sur l'attention dans la circulation était sous-estimé par rapport à l'absence d'utilisation d'un kit mains libres. Même si les formes de distraction physiques et visuelles sont réduites à un minimum pendant l'utilisation d'un kit mains libres, ce n'est pas le cas de la distraction cognitive: l'attention est partagée entre la conversation et la situation de conduite. Cette idée fautive de risque de sécurité pourrait même faire que l'utilisation d'un kit mains libres donne lieu à des situations plus dangereuses encore que l'absence d'utilisation d'un kit mains libres. Dans ce dernier cas, le conducteur a conscience du danger et peut par exemple l'anticiper en réduisant la durée de la conversation ou postposant celle-ci.

Huth et Brusque (2014) évoquent 3 types de stratégies de compensation permettant de réduire le risque potentiel :

- ▶ Les stratégies réglant l'exposition à l'utilisation du téléphone, allant d'un refus total d'utilisation du téléphone à la réaction sélective face à des appels et le chunking d'un appel.
- ▶ Les stratégies dans lesquelles la conversation téléphonique est limitée à des situations dans lesquelles la tâche de conduite ou l'utilisation du téléphone est moins exigeante. L'on peut dans ce cas choisir d'uniquement téléphoner dans des conditions de circulation très simples (être à l'arrêt dans des embouteillages ou au feu rouge, uniquement sur les autoroutes et pas en agglomération) ou lorsque le support technique du véhicule le permet (adaptateur de vitesse) et uniquement lorsqu'il est possible d'utiliser le téléphone sans trop de manipulations (mains libres, contrôle vocal).

- ▶ Des stratégies qui influencent surtout la présence tactique dans le trafic. Garder davantage de distance par rapport au véhicule qui précède, ne plus dépasser, etc.

Les stratégies au niveau tactique ne sont cependant pas toujours volontaires mais interviennent plutôt à un niveau inconscient grâce au calibrage spontané qui se développe sous la forme d'un processus continu. L'on constate en effet souvent que les personnes qui téléphonent sans kit mains libres ou envoient des SMS ralentissent sans s'en rendre compte. Cette réduction typique de la vitesse ne se retrouve pas dans le cas de l'utilisation d'un kit mains libres (Ishigami & Klein, 2009). Des études antérieures, à l'instar des résultats de la présente étude, démontrent que pendant l'utilisation d'un kit mains libres, le conducteur maintient sa vitesse par rapport à un trajet de contrôle. Il convient cependant de souligner que les conditions de circulation de cette étude (autoroute à trafic modéré) étaient probablement moins sensibles à la détection de variations au niveau de la vitesse.

Devons-nous alors tendre vers une interdiction totale de téléphoner avec un kit mains libres? Il est difficile d'instaurer une interdiction car il est pratiquement impossible de contrôler si une personne est en train de téléphoner avec un kit mains libres. Le contrôle du respect de cette interdiction serait particulièrement ardu. L'IBSR ne prône dès lors pas une interdiction totale de l'utilisation du GSM au volant. L'IBSR estime que les utilisateurs doivent être suffisamment avertis du risque potentiel et qu'il est nécessaire de les sensibiliser au principe « Pas de GSM au volant ». Pour terminer, nous formulons dans le Tableau 3 quelques conseils concernant l'usage du GSM dans la voiture.

Tableau 3: Conseils concernant l'usage du GSM dans la voiture.

<ol style="list-style-type: none">1) Adoptez le principe « Pas de GSM au volant ». Ne sous-estimez en aucun cas les risques potentiels.<ol style="list-style-type: none">a. La solution la plus simple consiste à éteindre le GSM ou le smartphone en entrant dans la voiture.b. Les nouvelles technologies peuvent s'avérer utiles à cette fin. Il existe par exemple une foule d'applications qui permettent de se passer du téléphone dans la voiture. Citons comme exemple les applications qui mettent le GSM en mode silencieux ou qui éteignent le GSM lorsqu'une vitesse spécifique est atteinte.c. Il existe également des applications faisant office de répondeur automatique envoyant un message à l'appelant pour lui indiquer que la personne est en train de conduire et n'est pas en mesure de décrocher le téléphone.2) Si vous préférez rester joignable, voici quelques principes que vous pouvez appliquer:<ol style="list-style-type: none">a. On vous appelle...<ol style="list-style-type: none">i. Liez des signaux/sonneries spécifiques aux appels vraiment importants auxquels vous devrez tout de même répondre pendant la conduite. Vous sélectionnez ainsi déjà de nombreux appels auxquels vous pourrez répondre ultérieurement.ii. Ne décrochez le téléphone que lorsque les conditions de circulation sont relativement simples.iii. Si vous décrochez le téléphone, expliquez immédiatement que vous êtes au volant et qu'il se peut que vous raccrochiez immédiatement si le trafic nécessite votre attention.iv. Demandez que la conversation soit brève.v. Si la conversation devient plus difficile ou émotionnelle, expliquez à votre interlocuteur que vous allez le rappeler et cherchez une place de stationnement.b. Vous devez appeler quelqu'un...<ol style="list-style-type: none">i. Recherchez de préférence une place de parking où vous pourrez le faire sans danger.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure A. Nombre de fixations par km sur les zones pertinentes dans lesquels une différence fiable entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.

Figure B. Durée de fixation moyenne sur les zones pertinentes dans lesquels une différence fiable entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.

Figure C. Graphiques de densité pendant le trajet de contrôle et le trajet d'essai de 4 sujets à titre d'illustration.

Figure A. The number of fixations per km on the areas of interest for which a reliable difference between the testride and the controlride was observed.

Figure B. Mean fixation duration for the areas of interest where a reliable difference between the test and the controlride was observed.

Figure C. Density plots during the testride and the controlride for 4 participants.

Figure 1. Expérience avec l'utilisation d'un kit mains libres (a) et expérience avec l'itinéraire parcouru (b) pour l'ensemble de l'échantillon.

Figure 2. Illustration des lunettes de suivi oculaire (Eye Tracking Glasses 2.0).

Figure 3. Représentation des 7 zones pertinentes en fonction desquels les mouvements oculaires ont été enregistrés.

Figure 4. Nombre de fixations par km sur les zones pertinentes dans lesquels une différence (marginale) significative entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.

Figure 5. Durée de fixation moyenne en millisecondes sur les zones pertinentes dans lesquels une différence (marginale) significative entre le trajet d'essai et le trajet de contrôle a été observée.

Figure 6. Durées des saccades moyennes pendant le trajet d'essai et le trajet de contrôle.

Figure 7. Graphiques de densité pendant le trajet de contrôle et le trajet d'essai de 4 sujets à titre d'illustration.

Figure 8. Temps passé sur les 3 bandes pendant le trajet d'essai et le trajet de contrôle (en secondes).

Tableau 1: Nombre de fixations par kilomètre et durée de fixation moyenne en ms sur tous les zones pertinentes.

Tableau 2: Aperçu des variables de conduite pendant le trajet d'essai et le trajet de contrôle.

Tableau 3: Conseils concernant l'usage du GSM dans la voiture.

REFERENCES

- Baloh, R.W., Sills, A.W., Kumley, W.E., & Honrubia, V. (1975). Quantitative measurement of saccade amplitude, duration, and velocity. *Neurology*, *25*, 1065-1070.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*, 1-48.
- Briggs, G.F., Hole, G.J., & Land, M.F. (2011). Emotionally involving telephone conversations lead to driver error and visual tunneling. *Transportation Research Part F*, *14*, 313-323.
- 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 and Prevention*, *40*, 1282-1293.
- Christensen, R.H.B. (2015). ordinal - Regression Models for Ordinal Data. R package version 2015.6-28.
- Consiglio, W., Driscoll, P., Witte, M., & Berg, W.P. (2003). Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Accident Analysis and Prevention*, *325*, 495-500.
- Crandall, J. M., & Chaparro, A. (2012). Driver Distraction: Effects of text entry methods on driving performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society HFES 56th Annual Meeting, 22-26 October 2012, Boston*, 1693-1697.
- Crossland, M.D., Sims, M., Galbraith, R.F., & Rubin, G.S. (2004). Evaluation of a new quantitative technique to assess the number and extent of preferred retinal loci in macular disease. *Vision Research*, *44*, 1537-1546.
- Dingus, T. A., Guo, F., Lee, S., Antin, J.F., Perez, M., Buchanan-King, M., & Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*, 2636-2641.
- Dragutinovic, N. & Divera, T. (2006). Use of mobile phones while driving – effects on road safety. A literature review. SWOV, Leidschendam.
- Drews, F.A., Pasupathi, M., Strayer, D.L. (2008). Passenger and cell-phone conversations in simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *14*, 392-400.
- Duchowski, A.T. (2007). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London, UK: Springer.
- Duong, T., & Hazelton, M.L. (2005). Cross-validation bandwidth matrices for multivariate kernel density estimation. *Scandinavian Journal of Statistics*, *32*, 485-506.
- Duong (2017). ks: Kernel Smoothing. R package version 1.10.5.
- Harbluk, J.L., Noy, Y.I., Trbovich, P.L., & Eizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis and Prevention*, *39*, 372-379.
- Herslund, M.B., & Jorgensen, N.O. (2003). Looked-but-failed-to-see-errors in traffic. *Accident Analysis and Prevention*, *35*, 885-891.
- Horrey, W.J., & Wickens, C.D. (2006). The impact of cell phone conversations on driving using meta-analytic techniques. *Human Factors*, *48*, 196-205.

- Hunton, J., & Rose, J.M. (2005). Cellular Telephones and Driving Performance: The Effects of Attentional Demands on Motor Vehicle Crash Risk. *Risk Analysis*, 25, 855-866.
- Huth, V., & Brusque, C. (2014). Drivers' adaptation to mobile phone use: interaction strategies, consequences on driving behaviour and potential impact on road safety'. In Stevens, A., Brusque, C., & Kreams, J. (Eds.), *Driver adaptation to information and assistance systems*. (pp. 173-196). Institution of engineering and technology, London, United Kingdom.
- Ingham, J. G. (1970). Individual differences in signal detection. *Acta Psychologica*, 34, 39-50.
- Ishigami, Y., & Klein, R.M. (2009). Is a hands-free phone safer than a handheld phone? *Journal of Safety Research*, 40, 157-164.
- Land, M.F. (2006). Eye movements and the control of actions in everyday life. *Progress in Retinal and Eye Research*, 25, 296–324.
- Lee, J. D., Vaven, B., Haake, S., & Brown, T. L. (2001). Speech-based interaction with in-vehicle computers: The effects of speech-based e-mail on drivers' attention to the roadway. *Human Factors*, 43, 631–640.
- Lee, J. D., Young, K. L., & Regan, M. A. (2008). Defining driver distraction. In Regan, M.A., Lee, J.D., & Young, K.L. (Eds.), *Driver distraction: Theory, effects, and mitigation*. (pp. 31-40). Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Mack, A., & Rock, I. (1998). Inattention blindness. Cambridge: MIT Press.
- Maples, W.C., DeRosier, W., Hoenes, R., Bendure, R., & Moore, S. (2008). The effects of cell phone use on peripheral vision. *Optometry*, 79, 36-42.
- McEvoy, S.P., Stevenson, M.R., McCartt, A.T., Woodward, M., Haworth, C., Palamara, P., & Cercarelli, R. (2005). Role of Mobile Phones in Motor Vehicle Crashes Resulting in Hospital Attendance: A Case-Crossover Study. *British Medical Journal*, 331, 428-433.
- Meesmann, U. & Schoeters, A. (2016). Hoe kijken autobestuurders naar verkeersveiligheid? Resultaten van de vijfde nationale attitudemeting over verkeersveiligheid van het BIVV (2015). Brussel, België: Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3–25.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R *Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Recarte, M.A., & Nunes, L.M. (2000). Effects of verbal and spatial imagery tasks on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6, 31–43.
- Redelmeier, D.A., & Tibshirani, R.J. (1997). Association between cellular telephone calls and motor vehicle collisions. *The New England Journal of Medicine*, 336, 453–458.
- Salvucci, D.D., & Goldberg, J.H. (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. *Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 71-78.
- Slootmans, F. (2015). Themadossier verkeersveiligheid. Afleiding in het verkeer. Brussel, België: Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.

- Steinman, R.M. (1965). Effect of target size, luminance, and color on monocular fixation. *Journal of the Optical Society of America*, 55, 1158-1165.
- Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001). Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular phone. *Psychological Science*, 12, 462–466.
- SWOV (2016). Mobiel telefoongebruik door bestuurders. SWOV-Factsheet, juli 2016. SWOV, Den Haag
- Törnros, J. E. B., & Bolling, A. K. (2005). Mobile phone use--Effects of handheld and handsfree phones on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 902-909.
- Törnros, J. E. B., & Bolling, A. (2006). Mobile phone use--Effects of conversation on mental workload and driving speed in rural and urban environments. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9, 298-306.
- Trigoso J., Areal A., & Pires C. (2016). Distraction and fatigue. ESRA thematic report no. 3. ESRA project (European Survey of Road users' safety Attitudes). Lisbon, Portugal: Prevenção Rodoviária Portuguesa.
- Tsai, Y.F., Viirre, E., Strychacz, C., Chase, B., & Jung, T.P. (2007). Task performance and eye activity: Predicting behavior relating to cognitive workload. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 78, B176-185.
- Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S. M., Kopf, M., Helmert, J., & Joos, M. (2002). Change detection and occlusion modes in road-traffic scenarios. *Transportation Research Part F*, 5, 99–109.
- Victor, T.W., Harbluk, J.L., Engstrom, J.A. (2005). Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty. *Transportation Research Part F*, 8, 167–190.
- Wester, A. E., Böcker, K. B. E., Volkerts, E. R., Verster, J. C., & Kenemans, J. L. (2007). Event-related potentials and secondary task performance during simulated driving. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1–7.
- Wilson, E.B. (1927). Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *Journal of the American Statistical Association*, 22, 209–212.
- Young, R. A. (2012). Cell Phone Use and Crash Risk: Evidence for Positive Bias. *Epidemiology*, 23(1), 116-118.



Institut Belge pour la Sécurité Routière
Chaussée de Haecht 1405
1130 Bruxelles
info@ibsr.be

Tel.: 02 244 15 11
Fax: 02 216 43 42