



Rapport n° 2024-R-24-FR

# Utilisation de l'info-divertissement par les conducteurs

Impact sur la conduite



SERVICE PUBLIC FÉDÉRAL  
MOBILITÉ ET TRANSPORTS

Numéro de rapport	R-2024-24-FR
Dépôt légal	D/2024/0779/53
Client	Service public fédéral Mobilité et Transports
Date de publication	[Publish Date]
Auteur(s)	Mark Tant, Maya Vervoort, Kishan Vandael Schreurs
Relecteur(s)	Prof. Dr. Tom Brijs
Éditeur responsable	Karin Genoe

Les vues ou opinions exprimées dans ce rapport ne sont pas nécessairement celles du client.

La reproduction des informations de ce rapport est autorisée à condition que la source soit explicitement mentionnée : Tant, M., Vervoort, M., & Vandael Schreurs, K. (2024). Utilisation de l'info-divertissement par les conducteurs – Impact sur la conduite, Bruxelles: Institut Vias

Dit rapport is eveneens beschikbaar in het Nederlands.

This report includes a summary in English.

L'institut Vias remercie les équipes de HIT Lab (Hogeschool West Vlaanderen) et Ford Lommel Proving Ground pour leur contribution à la réussite de cette étude.



# Table des matières

Liste des tableaux et figures	6
Résumé	8
Summary	10
1 Introduction	12
2 Questions de recherche	15
3 Contexte scientifique	16
3.1 Introduction	16
3.2 Le principe du traitement de l'information	16
3.3 Distraction	17
3.4 La mesure de la distraction	19
3.4.1 Les variables dépendantes	19
3.4.2 Méthodes utilisables	20
3.5 Prévalence et accidents	22
3.5.1 Prévalence et acceptabilité	22
3.5.2 Accidents	22
3.6 Âge et sexe	23
3.7 Affections médicales	24
3.8 Autorégulation	25
4 Méthodologie	27
4.1 Participants	27
4.2 Le parcours et le véhicule	27
4.3 Les conditions et les tâches	28
4.4 Les tâches pendant la conduite	30
4.4.1 L'arrêt d'urgence	30
4.4.2 Les tâches IVIS	31
4.5 L'équipement de mesure	32
4.5.1 Le véhicule	32
4.5.2 La personne	32
4.5.3 Caméra supplémentaire	35
5 Analyse des données	36
5.1 Participants	36
5.2 Prétraitement et contrôle de la qualité	36
5.3 Description des techniques d'analyse	37
5.4 Rapport	37
5.4.1 Suivi d'une présentation en ligne	38
5.4.2 Utilisation de WhatsApp	50
5.4.3 Utilisation de Spotify	56
6 Discussion	62
7 Conclusions	68
8 Recommandations	70

Références _____	74
Annexe 1 – Textes accompagnant la présentation Teams _____	80
Video et audio (uniquement en néerlandais) _____	80
Mozzarella _____	80
Tropische oceaan _____	80
Vesuvius _____	80
Mozzarella _____	81
Tropische oceaan _____	81
Vesuvius _____	81
Annexe 2 – Présentations PowerPoint _____	82
Mozzarella _____	82
Tropische oceaan _____	83
Vesuvius _____	84
Annexe 3 – Mouvements oculaires Présentation Teams _____	85

# Liste des tableaux et figures

Tableau 1 Nombre de participants avec données conservées par tâche et par condition.	36
Tableau 2 Nombre de participants avec temps de réaction calculé aux arrêts d'urgence par condition.	36
Tableau 3 Nombre d'erreurs trouvées pendant la présentation Teams par condition.	42
Figure 1 Exemple d'extensions d'info-divertissement dans un véhicule.	12
Figure 2 Vue d'ensemble des pistes de test au Lommel Proving Ground	28
Figure 3 Illustration de la position des écrans du smartphone et du véhicule, et de la bande LED.	29
Figure 4 Le circuit avec les emplacements des différentes tâches	30
Figure 5 Illustration de la position des écrans du smartphone et du véhicule, et de la bande LED activée.	30
Figure 6 Illustration d'une réunion Microsoft Teams	31
Figure 7 Illustration d'une playlist Spotify	32
Figure 8 Le système Tobii Pro 3	33
Figure 10 Illustration de la mesure de la conductance cutanée	34
Figure 9 Illustration de la mesure de la respiration	34
Figure 11 Vitesse moyenne prédite (km/h) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	38
Figure 12 Dispersion des vitesses observées (km/h) par condition.	39
Figure 13 Fréquence respiratoire moyenne prédite (respirations par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	39
Figure 14 Dispersion de la fréquence respiratoire observée (respirations par minute) par condition.	40
Figure 15 Fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	40
Figure 16 Dispersion de la fréquence cardiaque observée (battements par minute) par condition.	41
Figure 17 SDLP moyenne prédite par condition avec les limites supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance à 95%.	41
Figure 18 Dispersion de la SDLP observée par condition.	42
Figure 19 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Contrôle.	43
Figure 20 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Phone Connect.	44
Figure 21 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Standalone Phone.	45
Figure 22 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Car Connect	45
Figure 23 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Contrôle.	46
Figure 24 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Phone Connect.	47
Figure 25 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Standalone Phone.	47
Figure 26 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Car Connect.	48
Figure 27 Temps de réaction moyen prédit au signal d'arrêt d'urgence (secondes) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	50
Figure 28 Vitesse moyenne prédite (km/h) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	51
Figure 29 Dispersion des vitesses observées (km/h) par condition.	51
Figure 30 Vitesse observée (km/h - lignes en pointillés) et temps de réaction (secondes - lignes verticales pleines) par condition pour un participant.	52
Figure 31 Fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	53
Figure 32 Angle de braquage moyen prédit (°) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	54
Figure 33 Dispersion des angles de braquage observés (°) par condition.	54
Figure 34 Pression moyenne prédite sur l'accélérateur (%) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	55
Figure 35 Dispersion de la pression observée sur l'accélérateur (%) par condition.	55
Figure 36 Vitesse moyenne prédite (km/h) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.	57

Figure 37 Dispersion des vitesses observées (km/h) par condition. _____	57
Figure 38 Fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%. _____	58
Figure 39 Dispersion de la fréquence cardiaque observée (battements par minute) par condition. _____	58
Figure 40 Angle de braquage prédit moyen (°) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%. _____	59
Figure 41 Dispersion des angles de braquage observés (°) par condition. _____	59
Figure 42 Pression moyenne prédite sur l'accélérateur (%) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%. _____	60
Figure 43 Dispersion de la pression observée sur l'accélérateur (%) par condition. _____	60

## Résumé

Les effets néfastes de la distraction au volant sont bien documentés. Parmi ces sources de distraction figurent les passagers, les enfants sur la banquette arrière, les panneaux publicitaires et les téléphones portables. De plus, ces distractions ne cessent de se multiplier. Concernant les téléphones portables, on pensait au départ que l'impact négatif sur la conduite provenait surtout du fait de tenir le téléphone en main et de le porter à l'oreille. C'est pourquoi le code de la route belge autorisait initialement uniquement l'utilisation des dispositifs mains libres.

Depuis le début de ce siècle, nous ne parlons plus seulement de téléphones portables, mais de smartphones. Ces appareils offrent de plus en plus de fonctionnalités, ce qui entraîne une utilisation accrue dans diverses situations, y compris au volant. En parallèle, les véhicules voient aussi leurs fonctionnalités s'enrichir. Il devient de plus en plus facile de connecter des appareils à la voiture, ajoutant ainsi de nouvelles possibilités pendant la conduite. De plus, la qualité sonore et visuelle des véhicules s'améliore. Certaines de ces nouvelles fonctions visent principalement le confort plutôt que la sécurité. Lorsqu'un système combine à la fois information et divertissement, il est appelé un système d'info-divertissement. Le terme générique pour désigner ces systèmes dans les voitures est 'IVIS', signifiant 'Systèmes d'info-divertissement embarqués' (In-Vehicle Infotainment Systems).

Avec l'apparition de nouvelles fonctionnalités, il est désormais reconnu que la distraction au volant ne provient pas seulement du fait de tenir l'appareil, mais également des distractions cognitives et visuelles. Cela soulève la question légitime de savoir si cette augmentation des sources de distraction est compatible avec une conduite sécurisée. Des études récentes montrent que les conducteurs belges sont distraits environ la moitié du temps passé au volant, et que chaque année environ 150 morts sur la route en Belgique sont imputables à la distraction.

Pour répondre à ces nouveaux défis, une nouvelle loi a été introduite en Belgique le 3 mars 2022, régulant l'utilisation de tous les appareils à écran dans les voitures. Depuis cette date, ces appareils ne peuvent être utilisés que s'ils sont placés dans un support adapté. L'objectif est clair : réduire les risques liés à la conduite grâce à une réglementation adaptée et à des sanctions renforcées. Cependant, cette réglementation se concentre uniquement sur la manière dont les appareils peuvent être utilisés, à savoir s'ils sont dans un support. Or, en termes de distraction, il est tout aussi crucial de considérer ce que nous faisons avec ces appareils et où ils sont placés. Les fabricants de smartphones et les constructeurs automobiles reconnaissent que tout n'est pas permis. Certaines fonctionnalités sont limitées par des applications ou par le véhicule lui-même. Toutefois, un simple ajustement des paramètres ou l'utilisation d'un système relativement basique permet souvent d'accéder à toutes les fonctions du smartphone, comme lire et répondre aux e-mails ou messages WhatsApp, utiliser un navigateur complet, participer à des visioconférences, visionner des vidéos YouTube, des films, ou encore jouer à des jeux.

Ce rapport examine l'impact potentiel de l'utilisation de ces technologies (info-divertissement) sur la conduite. La question principale est de savoir si l'utilisation des IVIS affecte les paramètres de sécurité routière et si cet impact varie en fonction de la manière dont ces systèmes sont utilisés.

Nous présentons un cadre théorique souvent utilisé pour expliquer pourquoi, comment et quand des tâches supplémentaires, telles que l'utilisation des IVIS, entraînent une diminution des performances dans une autre tâche, comme la conduite. La théorie du traitement de l'information stipule que l'attention est requise pour traiter les informations, que notre capacité d'attention est limitée et que nos performances diminuent lorsqu'une tâche demande plus d'attention que nous ne pouvons en fournir. Non seulement notre capacité d'attention globale est limitée, mais celle des canaux de traitement l'est aussi. Appliqué à la conduite, cela signifie que la tâche de conduite demande de l'attention, tout comme l'utilisation d'un système d'info-divertissement. Lorsque la combinaison des deux tâches dépasse notre capacité d'attention, l'une ne peut être correctement réalisée. Si c'est la conduite qui en pâtit, on parle alors de 'distraction au volant'.

Les distractions peuvent avoir diverses origines, tant internes qu'externes. Parmi les sources externes, on trouve les passagers, les panneaux publicitaires et les IVIS, tandis que les causes internes incluent la charge mentale et les émotions. L'âge, le sexe, les maladies, ainsi que la personnalité et l'attitude sont aussi des facteurs influençant l'attention. Ce concept est lié à l'autorégulation, qui désigne la capacité à résister aux distractions. La distraction au volant peut être étudiée et mesurée de différentes façons, chacune ayant ses avantages et inconvénients. Certaines études mesurent en continu les performances de conduite des participants, tandis que d'autres utilisent des simulateurs de conduite. Dans ce rapport, nous avons combiné

les avantages de ces méthodes en utilisant une voiture réelle sur un circuit fermé, permettant ainsi un meilleur contrôle des conditions de conduite.

Nous rapportons les données de 27 participants ayant suivi un itinéraire spécifique sur un circuit fermé. Chaque participant a parcouru cet itinéraire quatre fois, dans des conditions différentes. Dans la première condition (contrôle), une référence de base a été établie. Dans les trois autres conditions expérimentales, les participants ont utilisé des systèmes d'info-divertissement de manière variée. Dans la condition Car Connect, le smartphone était connecté à la voiture et les IVIS étaient utilisés via l'écran du véhicule. Dans la condition Phone Connect, le smartphone était également connecté à la voiture, mais les IVIS étaient contrôlés via l'écran du smartphone. Enfin, dans la condition Standalone Phone, le smartphone n'était pas connecté à la voiture et son propre écran était utilisé. Dans chaque condition, les participants ont suivi une réunion Teams, envoyé un message WhatsApp et consulté une liste de lecture Spotify. Pour évaluer les performances de conduite et l'état des conducteurs, nous avons mesuré différents paramètres tels que la vitesse, le temps de réaction, la fréquence cardiaque, la respiration et le comportement visuel à l'aide d'une boîte d'enregistrement d'événements, d'un système Biopac et d'un eyetracker.

Nous avons conclu que l'utilisation des IVIS a un effet négatif sur la conduite. Lors de l'exécution des trois tâches IVIS, plusieurs paramètres essentiels associés à un comportement de conduite moins sûr ont changé par rapport à la condition Contrôle. Ces changements se sont manifestés par des variations des valeurs absolues ou des écarts de comportement de conduite, de comportement visuel et d'état physique. Certains effets étaient assez clairs à interpréter, tandis que d'autres étaient plus complexes. Nous avons observé que les principes logiques et stratégiques associés à une conduite sécuritaire semblaient disparaître lors de l'utilisation des IVIS. Toutefois, tous les conducteurs n'étaient pas également affectés, ce qui pourrait indiquer une autorégulation ou des différences individuelles en termes de compétences cognitives et d'expérience. Des comportements compensatoires, tels que réduire la vitesse, ont parfois été observés, mais ils n'ont pas toujours suffi à compenser les perturbations dans d'autres paramètres de conduite. Le message principal est qu'éviter complètement l'utilisation des IVIS reste la meilleure option pour la sécurité routière. Parmi les différentes conditions testées, la condition Car Connect semblait être le 'moins mauvais choix'.

Sur la base de cette étude, nous formulons une série de recommandations pour réduire l'impact de la distraction au volant. Certaines de ces recommandations s'adressent aux décideurs nationaux et locaux, tandis que d'autres nécessitent des initiatives internationales. Ces recommandations couvrent plusieurs domaines : technologie, évaluation et développement, infrastructure, formation, sensibilisation et contrôle. En matière d'infrastructure, par exemple, il pourrait être utile de réduire le nombre de panneaux routiers et publicitaires dans les zones visuellement complexes. On pourrait également réglementer les restrictions d'utilisation imposées par les systèmes et inclure les IVIS dans les évaluations de distraction dans le cadre du nouveau règlement général de sécurité obligatoire. Le développement ergonomique des IVIS devrait être plus inclusif, et différents groupes d'utilisateurs devraient être formés et informés de manière appropriée sur leur utilisation. Enfin, pour renforcer le contrôle, l'utilisation de caméras intelligentes pourrait être envisagée afin de surveiller le respect de la réglementation actuelle. Une modification de l'article 8.4 pourrait permettre l'utilisation des IVIS uniquement lorsque le smartphone est connecté à la voiture et utilisé via l'écran du véhicule.

# Summary

The negative effects of distractions while driving have long been known. These distractions come from passengers, children in the back seat, billboards, and mobile phones. Moreover, the sources of distraction are constantly increasing. Initially, it was believed that the negative effects of mobile phones on driving were mainly due to holding the phone in the hand and against the ear. As a result, the Belgian Highway Code originally allowed only hands-free calls.

Since the first decade of this century, we no longer refer to mobile phones but to smartphones. These devices offer increasingly diverse functionalities, and their use has expanded to various situations, including driving. The capabilities of cars have also advanced, making it easier to connect devices to the car and adding new functionalities while driving. In-car sound and screen quality have improved as well. Some of these new functionalities enhance comfort rather than safety. Systems that provide information and entertainment in the car are known as 'infotainment systems', collectively referred to as 'In-Vehicle Infotainment Systems' (IVIS).

With these new functionalities, it became clear that distractions are not only caused by holding the device but also by cognitive and visual distractions. This raises the question of whether the increase in driver distractions is compatible with safe driving. Recent research shows that Belgian drivers are distracted for about half of their driving time, with around 150 deaths per year attributed to distraction.

To address these challenges, a new law has been in force in Belgium since March 3, 2022, regulating the use of all devices with screens in cars. Screen devices may only be used when placed in a suitable holder. This aims to reduce driving risks through stricter regulations and sanctions. However, the current law only restricts 'how' devices may be used (in a holder), but 'what' is done with these devices and 'where they are' are equally important in terms of distraction. Manufacturers and constructors have acknowledged this, and some functionalities are restricted on both the smartphone and car sides. However, simple adjustments can grant access to all smartphone functionalities, including reading and replying to emails, browsing the web, online meetings, watching videos, and playing games.

This report examines the potential impact of using these technological tools (infotainment) on driving behaviour. The primary research question is whether the use of IVIS affects road safety parameters and whether this impact depends on how IVIS is used.

We employ a theoretical framework to explain why, how, and when additional tasks, such as using IVIS, reduce performance in other tasks, such as driving. Information processing theory suggests that processing information requires attention, our attention capacity is limited, and task performance declines when more capacity is required than available. Not only is our total attention capacity limited, but the capacity of processing channels is also limited. In traffic, this means that both driving and operating infotainment systems require attention. When the combined demand exceeds our total attention capacity, either task suffers. When driving suffers, we refer to it as 'distraction in traffic'.

Distraction is multifactorial, with both internal and external causes. External causes include passengers, billboards, and IVIS. Internal causes include mental strain and emotions. Factors like age, gender, diseases, personality, and attitudes also influence attention. Self-regulation, the ability to resist distraction, is related to these factors.

Various methods can investigate and measure traffic distraction, each with its advantages and disadvantages. Experiments can measure driving performance continuously, while driving simulators are also commonly used. In this report, we combine these methods by using a real car on a closed circuit, offering more control over the driving situation.

We report data from 27 subjects who drove a specific route on a closed circuit. They drove this route four times under different conditions. In the Control condition, a baseline was established. In the three experimental conditions, subjects used infotainment systems differently. In the Car Connect condition, the smartphone was connected to the car, and IVIS were used via the car's screen. In the Phone Connect condition, the smartphone was connected to the car, but IVIS were used through the smartphone's screen. In the Standalone Phone condition, the smartphone was not connected to the car and was used independently. In each condition, subjects participated in a Teams meeting, sent a WhatsApp message, and scrolled through a Spotify playlist. Driving performance and driver condition were measured using parameters like speed, reaction time, heart rate, breathing, and viewing behaviour, recorded by an event-recorder box, a Biopac system, and an eyetracker.

We concluded that using IVIS negatively impacts driving behaviour. While performing the three IVIS tasks, several key parameters associated with unsafe driving behaviour changed relative to the Control condition. These changes affected driving behaviour, viewing behaviour, and body condition. In several cases, the relationships were clear and could be interpreted unambiguously, while in others, the interpretation was more complex. For example, logical and strategic principles characterizing safe driving behaviour seemed to disappear while using IVIS. However, not everyone was equally sensitive to the negative effects, possibly indicating self-regulation and differences in cognitive skills and experience. Some compensatory behaviours, like driving more slowly, were observed but were not always effective as other driving parameters were simultaneously disturbed. The main message is that not using IVIS is always the better option for driving safety. Of all the conditions in which IVIS was used, the Car Connect condition seemed to be the least detrimental.

Based on the study, we formulate several recommendations to reduce the impact of distractions while driving. These recommendations cover national and local policy levels and/or require international initiatives. The recommendations fall into themes like technology, evaluation and development, infrastructure, training, engagement, and enforcement. For example, reducing the number of traffic and advertising signs, especially in visually challenging areas, and regulating use restrictions could help. The ergonomic development and implementation of IVIS should be more inclusive, and different user groups should be appropriately trained and informed about the (im)possibilities of use. Enforcement could be enhanced using smart cameras to ensure compliance with current legislation. Amending Article 8.4 to allow IVIS use only when the smartphone is connected to the car and used through the car screen could also be considered.

# 1 Introduction

Les effets négatifs de la distraction au volant sont connus depuis longtemps (par exemple, Regan et al., 2011). Avec l'apparition du téléphone portable, ces effets se sont amplifiés. Traditionnellement, on considérait que de nombreuses personnes tenaient leur téléphone à l'oreille en conduisant, ce qui laissait une seule main pour contrôler le véhicule. Cela était vu comme une cause majeure, voire la principale cause, de l'impact négatif sur la sécurité routière (McCartt et al., 2006)

Dans cette optique, la solution semblait évidente : il suffisait de garder les deux mains libres en n'utilisant le téléphone qu'en mode 'handsfree' (en opposition au mode 'handheld'). Ainsi, depuis le début de ce siècle, le législateur belge a modifié l'article 8.4 du code de la route<sup>1</sup> pour stipuler que « *Sauf si son véhicule<sup>2</sup> est à l'arrêt ou en stationnement, le conducteur ne peut faire usage d'un téléphone portable en le tenant à la main* ». Le non-respect de l'article 8.4 était considéré comme une infraction de 2<sup>ème</sup> degré. Au début des années 2000, les fonctionnalités des appareils se limitaient principalement à passer des appels, et éventuellement à envoyer et recevoir des messages texte (SMS).

Cependant, il n'a pas fallu longtemps pour comprendre que le fait de téléphoner en mode mains libres ne résolvait pas tous les problèmes. Ce n'est pas seulement la manipulation du téléphone qui est problématique, mais aussi son utilisation en soi (Boets & Teuchies, 2019). Cela a également introduit d'autres types de distraction, notamment cognitive, comme une cause d'impact négatif sur la sécurité routière (par exemple, Nunes & Recarte, 2002). En d'autres termes, on a commencé à réaliser qu'il existe différents types de distractions : la distraction liée à la manipulation, à l'observation des appareils, ou à leur utilisation. Ces dernières formes de distraction deviennent d'autant plus importantes à mesure que les capacités technologiques et donc les possibilités d'utilisation augmentent.

De plus, on parle de moins en moins de téléphone portable, mais plutôt de smartphone, indiquant que les capacités de ces appareils ont considérablement augmenté. Si ces smartphones sont utilisés en voiture pendant la conduite, il est légitime de se demander si ces fonctionnalités étendues sont encore compatibles avec la tâche de conduite. Autrement dit : ces fonctionnalités ne perturbent-elles pas trop la conduite, ne causent-elles pas trop de distraction ? En outre, il peut y avoir d'autres appareils et technologies dans le véhicule susceptible de causer des distractions. Pensez aux écrans géants intégrés dans certaines voitures qui, grâce à des capacités techniques accrues, ouvrent la porte à de nouvelles applications. La Figure 1 montre un exemple d'info-divertissement étendu dans la voiture d'un directeur de course lors d'une course cycliste.

Aujourd'hui, nous pouvons naviguer, gérer des playlists, gérer nos réseaux sociaux, jouer à des jeux, regarder des vidéos et participer à des vidéoconférences. La combinaison d'informations et de divertissement est appelée 'info-divertissement'. Les systèmes qui fournissent l'info-divertissement dans les voitures sont appelés IVIS, ou 'systèmes d'info-divertissement embarqués' (In-Vehicle Infotainment Systems). La législation ne correspondait plus à la réalité actuelle des IVIS. En effet, le nombre de systèmes d'info-divertissement, leurs fonctionnalités, quand et comment ils peuvent être utilisés, qu'ils soient combinés ou non, évoluent constamment et continueront de le faire.



Figure 1 Exemple d'extensions d'info-divertissement dans un véhicule.

<sup>1</sup> <https://www.code-de-la-route.be/fr/reglementation/1975120109~hra8v386pu>

<sup>2</sup> L'article 8.4 s'applique à tous les véhicules, pas seulement aux voitures. Dans ce rapport, nous discuterons cependant uniquement des voitures, sauf mention expresse du contraire.

Depuis le 3 mars 2022, une nouvelle loi est entrée en vigueur en Belgique, régissant l'utilisation non seulement des téléphones portables, mais aussi de tous les appareils équipés d'un écran dans les voitures. Parallèlement, des sanctions plus sévères ont été imposées, car l'infraction à l'article 8.4 passe désormais du 2<sup>ème</sup> au 3<sup>ème</sup> degré. Désormais, les amendes sont plus élevées et le permis de conduire peut même être retiré (immédiatement). Le nouvel article 8.4 se lit comme suit :

*« Sauf lorsque son véhicule est à l'arrêt ou en stationnement<sup>3</sup>, le conducteur ne peut utiliser, tenir en main, ni manipuler aucun appareil électronique mobile doté d'un écran, à moins qu'il ne soit fixé au véhicule dans un support destiné à cette fin. »*

Le législateur souligne ainsi la nécessité d'exercer une prudence accrue vis-à-vis de tous les appareils électroniques équipés d'un écran dans le véhicule, tout en réglementant partiellement leur utilisation. Par conséquent, un appareil à écran ne peut pas être posé n'importe où ; il doit impérativement être fixé dans un support adapté. La législation s'adapte donc partiellement à la nouvelle réalité. En effet, il est désormais reconnu que d'autres appareils, au-delà des téléphones portables, doivent également susciter notre attention. Cependant, la formulation actuelle ne concerne que la manière d'utiliser ces appareils. Il est tout aussi essentiel de réfléchir à ce que nous faisons avec eux et peut-être aussi à leur emplacement. L'article 8.4 ne mentionne qu'un 'support adapté' sans spécifier, par exemple, un 'emplacement adapté' pour celui-ci. Il faut espérer qu'un renforcement des sanctions permettra de diminuer les comportements à risque.

À ce jour, seule la police est habilitée à constater les infractions. Pourtant, l'institut Vias a démontré que des caméras avancées peuvent techniquement effectuer les mêmes constats (Vandael Schreurs et al., 2020). Cette possibilité, qui augmenterait considérablement les chances de détection, n'est cependant pas encore prévue en Belgique.

Les capacités des smartphones continuent d'augmenter, tout comme la qualité et la taille des écrans, non seulement pour les smartphones et les tablettes, mais aussi pour ceux intégrés dans les véhicules. De plus, l'interconnexion entre ces appareils devient de plus en plus simple : nous connectons facilement notre smartphone à notre voiture. Avec Android Auto et Apple CarPlay, nous partageons les fonctionnalités du smartphone avec celles du véhicule. Cela signifie que presque toutes les fonctionnalités du smartphone sont accessibles via l'écran de la voiture. Ce qui peut ou ne peut pas être 'partagé' avec le véhicule est parfois limité, tant du côté de la voiture que du côté du smartphone ou des applications. En principe, certaines applications et activités risquées peuvent donc être limitées pendant la conduite. Par exemple, Android Auto et Apple CarPlay n'offrent pas toutes les applications, et vous ne pouvez pas tout faire avec Spotify lorsque votre smartphone est connecté au véhicule. Cependant, dans de nombreux cas, il suffit de modifier simplement un paramètre standard du smartphone ou de l'application pour pouvoir utiliser toutes les fonctionnalités. Même si cela n'est pas possible ou trop complexe, il existe des systèmes et techniques relativement simples et bon marché permettant de reproduire intégralement l'écran du smartphone ('casting', duplication ou 'miroir') sur l'écran intégré du véhicule. Cela permet un accès illimité à toutes les fonctionnalités du smartphone : lire et répondre à des e-mails et autres messages comme WhatsApp, utiliser pleinement le navigateur, participer à des réunions en ligne avec vidéo et présentations, regarder des vidéos YouTube, jouer à des jeux, etc.

Nous avons repris la citation suivante d'un site commercial<sup>4</sup> :

*« While driving, if you want to answer a call, look for directions from a navigation app, or play music, you have to divert your attention toward your phone, and this might await a horrible accident. Therefore, it's better to mirror your phone content to your car screen. This way, your phone content will be directly in front of you. You can successfully keep your focus on driving and managing your phone which will be easy and risk-free. Stay tuned to know how you can mirror your phone to the car screen and have a safe driving experience ».*

On laisse donc entendre que l'utilisation complète du smartphone pourrait même avoir des effets bénéfiques en termes de sécurité. Nous n'avons trouvé aucun soutien scientifique pour cette affirmation sur le site en question.

Selon l'article 8.4, tout cela n'est pas interdit, tant que le smartphone et/ou l'écran sont fixés de manière appropriée. La question se pose bien entendu de savoir si cela est souhaitable. De plus, tout ce qui n'est pas explicitement interdit n'est pas nécessairement autorisé. Le code de la route stipule également, à l'article 8.3, que le conducteur doit « être constamment en mesure d'effectuer toutes les manœuvres qui lui incombent et doit avoir constamment le contrôle du véhicule ou des animaux qu'il conduit ». Paraphrasant le législateur :

<sup>3</sup> Être arrêté dans un embouteillage ou attendre au feu rouge ne relève pas de l'arrêt ou du stationnement.

<sup>4</sup> <https://www.imyfone.com/mirror-tips/mirror-phone-to-car-screen/#1>

pour participer adéquatement et en toute sécurité à la circulation en tant que conducteur, il est nécessaire de ne pas se préoccuper excessivement d'autres tâches que celles liées à la conduite. Sinon, vous risquez de manquer quelque chose, de mal faire quelque chose, de réagir trop tard, etc. En d'autres termes, l'utilisation de ces nouvelles possibilités technologiques pourrait avoir des effets négatifs sur la conduite.

Le présent rapport évalue l'impact potentiel de l'utilisation de ces technologies sur la conduite. Dans cette étude, nous nous concentrons uniquement sur ce qui est technologiquement standard et réalisable. Nous n'élargissons donc pas les capacités standards, que ce soit pour le véhicule, le smartphone ou les applications. Parmi les exemples d'extensions que nous excluons, on trouve l'ajout de grands écrans dans le véhicule ou l'utilisation de la fonction de 'screen mirroring' via des applications tierces ou des dongles. Dans notre analyse, nous nous limitons à l'utilisation 'modale' ainsi qu'aux équipements et réglages standards des véhicules et des applications. En effet, nous ne sommes pas en mesure de déterminer si de telles extensions sont courantes, ni quelles en seraient les conséquences en termes d'assurance.

## 2 Questions de recherche

La question générale de la recherche est de savoir si l'utilisation des IVIS a un impact sur la sécurité routière et si cet impact dépend de la manière dont nous utilisons les IVIS. Nous avons choisi des applications IVIS bien connues et fréquemment utilisées.

L'introduction a mis en lumière que certains prestataires commerciaux affirment que l'utilisation intensive des IVIS permettrait au conducteur de se concentrer davantage sur la route. Cependant, la communauté scientifique adopte généralement une position plus nuancée. C'est pourquoi, dans cette recherche, nous examinons si l'utilisation des IVIS entraîne une distraction. Les questions de recherche concernent donc principalement la distraction et, par conséquent, la performance de la tâche, à savoir la performance de conduite. D'une part, nous nous demandons si différentes applications IVIS entraînent un degré différent de distraction, et donc d'impact sur la performance de conduite. D'autre part, nous souhaitons explorer si différents paramètres de sécurité routière sont influencés par l'utilisation des IVIS. On s'attend à ce que les paramètres de sécurité routière soient qualitativement moins bons dans des situations de distraction, donc lors de l'utilisation des IVIS. De plus, nous prévoyons que la qualité de ces paramètres se dégrade davantage dans des situations de distraction accrue ou intense. Ainsi, nous pensons que l'utilisation intensive des IVIS détériorera encore davantage ces paramètres. En outre, nous prévoyons que ces effets seront les plus prononcés dans des situations de forte charge de travail. Par conséquent, nous anticipons que, sous des conditions de conduite difficiles ou exigeantes, les effets négatifs seront les plus marqués.

## 3 Contexte scientifique

### 3.1 Introduction

Le progrès technologique constant a pour conséquence que de nouvelles fonctions et services sont continuellement mis à notre disposition ; cela vaut également pour la voiture et pour la conduite. Nous réglons la couleur de l'éclairage intérieur, ajustons le 'tempérament' de la voiture, déterminons la température pour chaque siège et modifions la sonorité de la musique d'ambiance. Ces fonctions et d'autres sont intégrées dans le système d'info-divertissement du véhicule. C'est donc grâce à ces systèmes d'info-divertissement (IVIS) que nous pouvons à la fois obtenir des informations (par exemple, la navigation, l'état du véhicule) et effectuer des activités de divertissement comme téléphoner, envoyer des messages, écouter la radio, des podcasts ou des playlists. Cependant, utiliser et manipuler ce système d'info-divertissement peut se faire au détriment de l'exécution de la tâche de conduite. La cause est souvent attribuée à la distraction. Nous allons donc approfondir ce concept.

### 3.2 Le principe du traitement de l'information

Conduire est une tâche complexe où le conducteur doit accomplir plusieurs choses en même temps. Les mains dirigent le volant, les pieds contrôlent les pédales. Pendant ce temps, les yeux sont fixés sur la route, essayant de surveiller au maximum ce qui se passe. En parallèle, nous appliquons le code de la route appris, prenons en compte le comportement des autres usagers de la route ainsi que les conditions météorologiques et situationnelles. Tout cela se déroule avec un certain objectif, dans un état d'esprit donné, tout en communiquant avec les passagers et les autres conducteurs. Notre cerveau initie, coordonne et traite toutes ces informations. Pour une conceptualisation détaillée et fréquemment utilisée de la tâche de conduite, voir Michon (1985). Notre cerveau, que l'on peut comparer à un ordinateur, dispose d'une capacité limitée de traitement de l'information. Comme pour un ordinateur, cette capacité est restreinte, et il est généralement admis que notre système interne ne peut réellement effectuer qu'une tâche à la fois, du moins lorsqu'elle est exécutée de manière consciente (Marois & Ivanoff, 2005).

La quantité de capacité de traitement de l'information utilisée à un moment donné dépend non seulement de la quantité d'information à traiter, mais aussi de la rapidité avec laquelle cela doit être fait, et si un ou plusieurs canaux de traitement de l'information sont utilisés. Traiter beaucoup d'informations demande beaucoup de capacité, mais traiter rapidement demande aussi beaucoup de capacité. Ainsi, traiter une certaine quantité d'informations nécessite plus de capacité lorsque cela doit être fait rapidement que lorsqu'il est possible de le faire à un rythme plus lent (Marois & Ivanoff, 2005). Le ou les canaux utilisés pour traiter l'information jouent également un rôle important. Lorsque la même quantité d'informations doit passer par un seul canal, cela est plus difficile que lorsque cela peut être réparti sur deux ou plusieurs canaux (Wickens, 1991).

Comme la conduite implique le traitement de plusieurs sources et flux d'informations internes et externes, et que ces informations doivent souvent être traitées rapidement, la conduite exige beaucoup de capacité de traitement d'information. Cela est vrai même dans des conditions 'normales', mais dans des situations de circulation difficiles ou exigeantes, le système de traitement est encore plus sollicité. Une surcharge de ce système entraîne soit une diminution de la quantité d'informations traitées (correctement), soit une diminution de la vitesse à laquelle cela se fait, ou les deux. C'est à ce moment-là que des informations sont manquées ou remarquées trop tard, ou que la réaction est trop tardive, des erreurs sont commises, des éléments sont ignorés ou mal évalués.

En pratique, il s'avère que dans des conditions normales, pour la plupart des personnes, la capacité de traitement de l'information est suffisante. Mais une situation de circulation plus complexe, un événement soudain et imprévu, ou l'exécution de tâches supplémentaires peuvent perturber ce processus et entraîner une surcharge du système. Cela peut alors conduire à une réaction inadéquate ou à un comportement de conduite inapproprié, comme mentionné ci-dessus (Fuller, 2000).

En reprenant l'analogie avec un ordinateur, le traitement de l'information demande des composants matériels et logiciels, ainsi qu'une source d'énergie. Le matériel est essentiellement constitué de notre cerveau et de notre système nerveux. Ce qui alimente le logiciel et cette énergie, c'est notre attention. Selon Shinar (2017), l'attention est une ressource psychique qui permet de réagir activement et efficacement aux stimuli. Cette ressource doit être partagée entre toutes les tâches et tous les stimuli, mais elle est limitée en quantité.

On pourrait penser qu'une tâche spécifique, comme la conduite, exige une certaine quantité d'attention. Cependant, ce n'est pas aussi simple. Tout d'abord, la tâche de conduite se compose de plusieurs sous-composantes, dont certaines nécessitent plus d'attention que d'autres. Ensuite, certaines de ces sous-tâches sont occasionnelles, tandis que d'autres sont plus fréquentes. Diriger, contrôler les pédales et respecter le code de la route sont des tâches plutôt constantes, tandis qu'une manœuvre d'évitement rapide se produit rarement. Ainsi, la quantité d'attention requise pendant la conduite peut varier. Deuxièmement, certaines sous-tâches de la conduite nécessiteront moins d'attention de la part de certains conducteurs que d'autres. Cela s'explique, par exemple, par le fait que les conducteurs expérimentés ont automatisé certaines sous-tâches, comme changer de vitesse ou utiliser l'embrayage. Et un processus automatisé demande moins d'attention qu'un processus effectué de manière consciente et contrôlée. Cela explique (en partie) pourquoi les conducteurs inexpérimentés font plus d'erreurs : ils atteignent plus rapidement la limite de leur capacité d'attention, car plus de processus doivent être exécutés de manière consciente et contrôlée, nécessitant ainsi davantage d'attention. Cela explique aussi, par exemple, pourquoi la conduite d'une voiture automatique est généralement perçue comme plus facile et plus relaxante : une sous-tâche de la conduite, à savoir le changement de vitesse et l'utilisation de l'embrayage, n'est plus nécessaire. Troisièmement, Michon (1985) a affirmé il y a bien longtemps que la tâche de conduite est une combinaison complexe de sous-tâches réparties sur trois niveaux distincts : stratégique, opérationnel et tactique. Il a également suggéré que chaque niveau exige une quantité différente d'efforts, de capacité d'attention et de temps de traitement, et que ces sous-tâches ne sont pas exécutées au même niveau par tous. Il y a, par exemple, une différence importante entre un conducteur novice et un conducteur expérimenté. Enfin, la tâche de conduite peut se dérouler dans différentes conditions extérieures. Conduire dans des conditions météorologiques ou de visibilité défavorables nécessite plus d'attention que lorsque les conditions sont idéales. L'exécution de certaines sous-tâches demandera donc plus d'attention et d'énergie en raison de ces conditions sous-optimales.

Nous avons mentionné plus tôt que des différences interindividuelles peuvent exister dans la gestion de l'attention pendant la conduite. Le degré d'automatisation des sous-tâches est une explication importante. Il est également vrai que la capacité totale d'attention peut varier d'une personne à l'autre (Suedfeld & Tetlock, 2001). Plusieurs facteurs influencent ces différences interindividuelles, comme l'âge, les facteurs génétiques, l'état émotionnel, le manque de sommeil, l'anxiété et la dépression (Commodari & Guarnera, 2008 ; Finucane, 2011 ; Hudson et al., 2020 ; Martin & Kerns, 2011 ; Peckham et al., 2010).

La tâche de conduite étant complexe, une grande part de notre capacité d'attention, qui est limitée, est dédiée à cette activité. Par conséquent, il ne reste qu'une quantité restreinte d'attention pour d'autres tâches. Ainsi, moins un conducteur investit d'attention dans la conduite, plus il en a pour réaliser d'autres activités simultanément. Cela explique pourquoi les conducteurs expérimentés rencontrent généralement moins de répercussions négatives en effectuant une tâche secondaire par rapport aux conducteurs novices (Shinar, 2017).

Les principes susmentionnés sont universels et s'appliquent à toutes les tâches, y compris celles qui sont ajoutées en tant que tâches secondaires et exécutées simultanément avec la tâche de conduite. Selon ces mêmes principes, lorsque l'on ajoute une tâche secondaire à la conduite, et que cela épuise les capacités d'attention, certains processus de traitement de l'information ne peuvent pas se dérouler, ou ne se déroulent pas assez rapidement, ou avec la même efficacité. Cela conduit à ce que l'on appelle l'"interférence des tâches" (voir par exemple Pashler, 1994). Lorsque cette interférence des tâches concerne la tâche principale, à savoir la conduite, on parle de 'distraction'. Le degré d'interférence avec la tâche principale dépend donc de la quantité d'attention requise par celle-ci, de la quantité restante et de ce qui est 'consommé' par la ou les tâches secondaires.

### 3.3 Distraction

La distraction est une forme spécifique d'inattention qui survient lorsque les conducteurs prêtent attention à une activité autre que la tâche de conduite (NHTSA, 2024). La distraction pendant la conduite existe depuis toujours et prend de nombreuses formes. Depuis des années, les conducteurs sont distraits en parlant avec des passagers ou par le bruit des enfants sur la banquette arrière. De plus, la recherche d'informations routières et la lecture des panneaux de signalisation ou de publicité peuvent également distraire le conducteur. Occasionnellement, une mouche ou une abeille gênante dans la voiture peut aussi provoquer une distraction. Ce sont toutes des circonstances qui détournent l'attention.

L'étude de la littérature réalisée par Qi et al. (2020) met en évidence à la fois des causes externes et internes de la distraction au volant. Les auteurs concluent que la distraction est un phénomène complexe, influencé par divers facteurs. Ils abordent non seulement l'augmentation de la charge visuelle et cognitive, mais aussi l'impact des émotions et des humeurs des conducteurs comme sources de distraction. Ils soulignent l'importance des facteurs internes et externes qui peuvent affecter le comportement au volant. Par exemple, ils notent que les panneaux publicitaires, au-delà de leur capacité à distraire visuellement, peuvent véhiculer un contenu émotionnel fort, qu'il soit positif ou négatif, ce qui influence l'attention des conducteurs. De plus, des frustrations internes peuvent également détourner l'attention du conducteur. En plus des facteurs internes, les auteurs soulignent le rôle crucial des attitudes. Ils mentionnent que l'attitude et la volonté d'un conducteur d'effectuer des actions nécessitant une attention accrue sont liées à son contexte sociodémographique. Leur analyse de la littérature révèle que l'attitude des jeunes conducteurs est le principal facteur prédictif de l'intention d'envoyer des SMS en conduisant. Ils sont ainsi plus susceptibles (que les conducteurs plus âgés) de recevoir, lire et répondre à des messages texte tout en conduisant. Par ailleurs, une autre cause interne de distraction en conduisant évoquée est la présence de troubles médicaux 'spécifiques'. Les auteurs soulignent, par exemple, que les jeunes adultes atteints de troubles de l'attention, tels que le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), sont plus susceptibles d'être distraits, notamment dans des situations de conduite monotones. L'influence et l'impact des troubles médicaux seront examinés plus en détail par la suite.

Ces causes, ainsi que d'autres, sont également évoquées par plusieurs autres auteurs. Par exemple, l'effet perturbateur des passagers a été examiné par Theofilatos et ses collègues (2018). Sur la base de leur méta-analyse, ces auteurs estiment que 3,55% des accidents de la route sont dus à l'interaction avec les passagers. Maasalo et ses collègues (2019) concluent que les conducteurs avec des passagers enfants sont plus souvent qualifiés de distraits que ceux sans enfants passagers. Il existe des indications selon lesquelles les panneaux publicitaires distraient l'attention, mais les effets négatifs ne sont pas aussi importants chez tout le monde (Shbeeb, 2023). Dans une étude de Gordon (2007), on estime que 4% de tous les accidents en Nouvelle-Zélande sont causés par des animaux ou des insectes dans le véhicule. Dans environ la moitié des cas, un animal de compagnie est à l'origine de la distraction, tandis que l'autre moitié est due à des insectes volants.

De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des téléphones portables en voiture. Plusieurs études (par exemple, Choudhary & Velaga, 2018) montrent que taper ou envoyer des SMS sur un téléphone comporte un risque extrêmement élevé d'accidents. Le risque d'accident est encore plus élevé chez les conducteurs qui prennent davantage de risques. Ces derniers auteurs soulignent, par exemple, que cela est particulièrement vrai pour les nouveaux conducteurs, car ils ajustent moins (ou ne peuvent pas ajuster) leur vitesse aux conditions données.

Il est évident que les types de distraction peuvent être catégorisés de différentes manières, par exemple en fonction de la source, comme mentionné précédemment. Mais ils sont également souvent décrits en fonction du mode ou du 'canal' à l'origine de l'interférence. Cette approche est adoptée par exemple par Batabyal (2021), Papantoniou et ses collègues (2017), ainsi que par Strayer et ses collègues (2018).

Ils distinguent :

- Distraction visuelle : lorsque le conducteur regarde autre chose que les objets nécessaires à la tâche de conduite.
- Distraction auditive : lorsque le conducteur écoute autre chose que ce qui est nécessaire à la conduite.
- Distraction physique (mais principalement manuelle) : lorsque le conducteur fait autre chose avec ses mains que ce qui est strictement nécessaire à la conduite.
- Distraction cognitive : lorsque le conducteur fournit un effort mental qui n'est pas strictement nécessaire à la conduite.

En réalité, ces catégories se manifestent rarement de façon isolée. Les stimuli visuels et auditifs interfèrent avec notre système, et provoquent ainsi une distraction, en partie parce qu'ils mobilisent également des ressources cognitives pour être traités. De plus, il arrive que plusieurs types de distraction se manifestent simultanément. C'est pourquoi certains auteurs combinent les types de distraction mentionnés ci-dessus. Une combinaison courante est la 'distraction audio-émotionnelle'. Elle survient lorsque le conducteur écoute une conversation (distraction auditive), doit comprendre et traiter ce qui est dit (distraction cognitive), et peut-être même répondre par la suite (ce qui constitue aussi une distraction cognitive). Un autre exemple est la 'distraction visuelle-manuelle'. Elle survient lorsque le conducteur doit effectuer une action manuelle spécifique en réponse à un stimulus visuel particulier. Cela nécessite alors simultanément un effort visuel, manuel et cognitif.

Un dernier point à discuter, important pour comprendre la distraction, concerne les modalités sensorielles sollicitées par les différentes tâches. Nous avons déjà mentionné que le traitement d'une certaine quantité d'informations est 'plus facile' lorsque celle-ci peut être 'répartie' sur différents 'canaux'. C'est en effet l'une des conséquences des limitations de la capacité de traitement de l'information. Cela signifie que le degré de distraction, lorsqu'il faut effectuer deux tâches différentes en même temps, sera plus élevé si les deux tâches doivent être traitées par le même canal sensoriel. Par exemple, si l'une des tâches est principalement visuelle et l'autre principalement auditive, l'effet distractif sera moindre. C'est pourquoi Scerra & Brill (2012) soulignent que la source d'interférence dans les performances à double tâche peut également résider dans les mécanismes de traitement communs, et pas seulement dans la difficulté des tâches.

En résumé, le fait qu'une tâche secondaire distraie ou non le conducteur, et dans quelle mesure, dépend de plusieurs facteurs tels que la complexité de la situation de conduite, la complexité de la tâche secondaire, les modalités sensorielles utilisées et, enfin, les caractéristiques et capacités propres du conducteur.

## 3.4 La mesure de la distraction

### 3.4.1 Les variables dépendantes

Les impacts de la distraction peuvent être évalués de différentes manières (Batabyal, 2021). Cette évaluation peut être réalisée de façon quantitative ou qualitative, en tenant compte de divers éléments tels que le comportement au volant et le risque d'accidents (Papantoniou et al., 2017). On considère généralement que la distraction ne peut pas être mesurée par une seule variable, et qu'il est préférable de sélectionner les variables en fonction des questions de recherche spécifiques.

Papantoniou et ses collègues (2017) ont étudié 40 études utilisant des simulateurs de conduite et ont conclu que l'impact de la distraction sur le comportement de conduite est principalement étudié à travers des paramètres comme la vitesse, la position latérale du véhicule, l'angle de braquage, le nombre de fixations visuelles, la distance de suivi, le temps de réaction (comme le temps de freinage), et la qualité des manœuvres de dépassement, d'accélération et de décélération. On part du principe que ces variables ont une valeur comparable pendant la conduite réelle dans le monde réel. La vitesse est l'un des indicateurs les plus couramment utilisés et est classée parmi les 'paramètres longitudinaux'. Parmi les dérivés, on trouve : la vitesse moyenne, la variabilité de la vitesse, ainsi que la vitesse minimale et maximale. Batabyal (2021) mentionne qu'on observe souvent que les conducteurs distraits conduisent plus lentement et avec plus de variabilité dans leur vitesse. Un autre exemple de paramètre longitudinal est la distance de suivi, exprimée en temps ou en distance. Les dérivés les plus utilisés sont la distance moyenne et la distance minimale. Des distances de suivi plus courtes sont généralement considérées comme moins sûres et sont interprétées comme une mesure de la charge cognitive.

En plus des paramètres longitudinaux, il existe également des paramètres latéraux, comme la position latérale, qui représente la position 'gauche-droite' du véhicule par rapport à la voie. Les dérivés incluent l'écart type et la moyenne de la position latérale. En général, une augmentation de l'écart type est perçue comme le signe d'une charge cognitive accrue du conducteur. Ce paramètre est souvent utilisé dans l'évaluation des effets des médicaments et des drogues sur la conduite (Verster & Roth, 2012). Une autre variable longitudinale concerne les mouvements du volant, l'accélération et la décélération, ainsi que le 'temps avant impact' (Time to Collision, TTC en anglais). Les mouvements du volant sont souvent opérationnalisés par l'angle de braquage. Batabyal (2021) souligne qu'il existe des preuves montrant que les petits mouvements continus du volant lors de la conduite 'normale' sont remplacés par des corrections brusques et plus importantes en cas de distraction.

La distraction, en particulier la distraction cognitive, est souvent mesurée en analysant le comportement visuel du conducteur (Papantoniou et al., 2017). Ce comportement comprend les moments où le regard 'se fixe' sur quelque chose et ceux où il se déplace vers un autre objet. Lorsqu'un œil 'se fixe', on parle de fixation. Lorsque l'œil saute d'un objet à l'autre, cela s'appelle une saccade. Les fixations peuvent être exprimées en nombre et en durée sur un objet ou dans une région donnée, tandis que les saccades sont généralement mesurées en nombre et en distance. Le nombre et la durée des fixations, ainsi que le nombre et la distance des saccades, sont associés à l'effort nécessaire pour percevoir ou analyser une situation. En fait, on considère également la qualité du mouvement de suivi comme une variable importante. Le mouvement de suivi (smooth pursuit en anglais) se produit lorsque l'œil se fixe sur un objet en mouvement et reste 'collé' à cet objet ; c'est le fait de

'suivre un objet en mouvement avec la fixation'. Ces mouvements de suivi sont cruciaux pour le traitement de l'information pendant la conduite, car l'environnement de conduite est intrinsèquement dynamique. Pour une description plus détaillée, nous renvoyons à Papantoniou et ses collègues (2017).

En plus de ces mesures liées au véhicule et au regard, ces auteurs définissent également le concept de charge cognitive (workload en anglais). Ils distinguent trois catégories de variables : d'abord les mesures subjectives, ensuite celles basées sur la physiologie, et enfin celles basées sur la performance des tâches.

Les mesures subjectives demandent au répondant d'exprimer son 'sentiment personnel de charge mentale' sur une échelle unidimensionnelle ou multidimensionnelle. Les lecteurs intéressés trouveront dans l'étude de Papantoniou et ses collègues (2017) une discussion de plusieurs de ces échelles.

Concernant la physiologie, la communauté scientifique part du principe que la charge cognitive entraîne une réaction physiologique du corps humain. En général, on analyse les réactions du cœur, de la respiration, des yeux, de la voix et du cerveau. Les dérivés de l'activité cardiaque sont la fréquence cardiaque, sa variabilité, et la pression artérielle. Pour la respiration, on analyse la quantité d'air inspiré et le nombre de respirations par unité de temps. Pour ce qui est des yeux, nous avons déjà discuté de l'analyse fonctionnelle du comportement visuel. En termes de physiologie oculaire, on parle de l'électrooculogramme (EOG), du nombre et de la durée des clignements des yeux, ainsi que de la réaction des pupilles. Cette dernière n'est pas toujours considérée comme universellement acceptée. La vitesse de la parole, la hauteur du ton, le volume et les variations de ces derniers sont des indicateurs physiologiques de la charge cognitive. Enfin, en ce qui concerne l'activité cérébrale, on mentionne l'électroencéphalogramme (EEG).

La dernière catégorie de variables, basée sur la performance des tâches, englobe une large gamme de mesures et de tâches, ce qui en fait la catégorie la plus générique. La performance des tâches fait référence à 'la qualité d'accomplissement d'une tâche'. Généralement, on demande aux participants d'accomplir deux tâches simultanément et on compare leurs résultats à ceux obtenus lorsqu'ils n'en accomplissent qu'une seule. Une diminution des performances dans l'une des deux tâches en condition combinée est interprétée comme une mesure de la charge cognitive. Un exemple est la réactivité à des événements inattendus, mesurée par le temps de réaction au frein ou au klaxon suite à un stimulus inattendu, ou par le nombre de cibles manquées ou de réponses incorrectes (Papantoniou et al., 2017). En général, un temps de réaction plus long, davantage de 'ratés' et de réponses incorrectes sont des indications de distraction accrue.

### 3.4.2 Méthodes utilisables

Il existe plusieurs méthodes couramment utilisées pour étudier les effets de la distraction dans la circulation. Les plus fréquentes sont les expériences sur la route ou sur circuit fermé, les expériences de suivi en conditions réelles (Naturalistic Driving en anglais), les expériences en simulateur de conduite, les analyses approfondies d'accidents, et les enquêtes sur les attitudes et les comportements autodéclarés (Bärgman, 2016 ; Papantoniou et al., 2017).

Une méthode très répandue et sécurisée pour étudier le comportement de conduite dans diverses environnements et conditions est l'utilisation d'un simulateur de conduite. Cependant, le 'paysage' actuel est très varié : les simulateurs présentent d'importantes différences en termes d'apparence, de caractéristiques, de fonctionnalités, de logiciels, ainsi que d'environnements et de conditions de conduite simulés. Cette diversité rend difficile la comparaison des études entre elles (Bärgman, 2016 ; Papantoniou et al., 2017). Les spécificités des simulateurs influencent le degré de réalisme, ce qui affecte également la validité écologique des résultats obtenus. La validité écologique fait référence à la mesure dans laquelle les résultats d'une étude ou d'une expérience peuvent être généralisés ou appliqués à des situations, conditions et événements réels. Par exemple, la représentativité du contexte par rapport à la réalité que les chercheurs cherchent à comprendre est essentielle. Le degré de réalisme et la généralisabilité des résultats sont des déterminants de la validité écologique. En ce qui concerne les recherches utilisant des simulateurs de conduite, on parle souvent de 'validité du simulateur' (Mullen et al., 2011). Les auteurs qui utilisent des simulateurs de conduite supposent, par exemple, que le comportement de conduite dans le simulateur est similaire, voire très proche, de celui observé dans le monde réel. On utilise alors le terme de 'validité comportementale'. Dans plusieurs simulateurs de conduite, cette validité comportementale est effectivement présente dans une certaine mesure. Mullen et ses collègues (2011) affirment que certains indicateurs de conduite peuvent être évalués de manière adéquate, tels que la vitesse, la position latérale, le moment du freinage, l'attention partagée et les comportements à risque. Ces auteurs soulignent également que les effets de l'âge et des changements cognitifs peuvent être étudiés. Ils avertissent toutefois que toutes les caractéristiques de la conduite ne sont pas comparables entre

le simulateur et le monde réel, et que cette relation dépend, par exemple, de l'expérience de conduite et des compétences du conducteur. Ils en concluent que le simulateur de conduite ne fait qu'approcher (validité relative) le comportement de conduite réel, sans pour autant être une réplique exacte (validité absolue). Cela ne constitue pas nécessairement un problème. En effet, pour de nombreuses questions de recherche, une validité absolue n'est pas requise. La généralisabilité dépendra de la question de recherche, des conditions de la tâche et des variables dépendantes utilisées. Pour certaines questions de recherche, par exemple celles impliquant un danger important, le simulateur de conduite est souvent la seule option. Cette méthode présente plusieurs avantages : elle est sécurisée et permet de manipuler un certain nombre de variables de manière très contrôlée, exposant ainsi le conducteur à certains événements. Un autre avantage est que l'analyse des données peut être relativement efficace : on sait où se trouvent les 'événements critiques' et la durée de la conduite est généralement limitée. Un inconvénient potentiel est que certaines personnes ne peuvent pas terminer les sessions de conduite, car le mal des simulateurs de conduite n'est pas rare, et dans certains cas, la validité comportementale peut être insuffisamment évaluée.

La validité comportementale la plus élevée est obtenue en 'suivant' les conducteurs lors de leur conduite quotidienne, une deuxième méthode très couramment utilisée. Le nom anglais pour cette méthode est 'Naturalistic Driving Study'. Dans ces études, les véhicules des participants sont équipés de divers dispositifs permettant d'observer et de mesurer leur comportement de conduite (Papantoniou et al., 2017). Aucune instruction spécifique ni 'manipulation expérimentale' n'est généralement donnée. Les observations se déroulent donc dans un environnement 'non contrôlé'. Cela permet des observations sur une longue période, dans des conditions critiques ou non, et réduit les effets de conduire un véhicule qui n'est pas le sien ou des comportements socialement souhaitables potentiellement induits par la présence d'un observateur (Singh & Kathuria, 2021). En fonction de l'équipement installé, le comportement de conduite est documenté en termes de vitesse, d'accélération, de force de freinage, de position latérale, de distance de suivi, etc. Parfois, des caméras discrètes supplémentaires sont installées, permettant d'analyser le comportement visuel et les effets de tâches secondaires. Dans ce type d'études, on pense souvent uniquement à un dispositif où le véhicule des participants est équipé. Cependant, il arrive aussi que l'on équipe l'environnement. Dans ce cas, divers dispositifs d'observation sont installés à un point donné pour analyser le comportement de conduite de tout le trafic qui passe. Surtout dans les études où des véhicules individuels sont équipés, le traitement des données est très intensif. Par conséquent, le traitement de ces données nécessite des logiciels et du matériel adaptés, ainsi que beaucoup de temps, d'efforts, de puissance de calcul et d'espace de stockage.

Une autre méthode consiste en des expériences menées sur la voie publique ou sur des circuits fermés. Ici, on combine en quelque sorte certains aspects de la méthode de la conduite quotidienne avec celle du simulateur de conduite. Avec cette méthodologie, on utilise des véhicules réels, équipés de capteurs, sur de véritables routes. Cela confère une validité écologique relativement élevée. Cependant, pendant la conduite, certaines variables sont généralement manipulées : ce sont les conditions expérimentales. À cet égard, ces études sont comparables aux études de simulateurs. Toutefois, les possibilités expérimentales sont plus limitées que dans le simulateur, principalement pour des raisons de sécurité. Cependant, en réalisant les expériences sur des circuits fermés plutôt que sur la voie publique, les chercheurs peuvent se permettre plus de libertés en matière de sécurité, bien que cela se fasse au détriment d'une partie de la validité écologique.

Lors d'analyses approfondies des accidents (une quatrième méthode), les accidents sont étudiés en détail afin de recenser tous les facteurs ayant conduit à l'incident (Papantoniou et al., 2017; Singh & Kathuria, 2021). De nombreuses conditions sont requises pour ces recherches, car la qualité des analyses dépend de la fiabilité, de l'exhaustivité et du niveau de détail des rapports et/ou de l'expertise des observateurs et des analystes. Comme l'analyse est rétrospective, il n'est pas toujours facile d'expliquer le comportement de conduite qui a conduit à l'accident.

La dernière méthode souvent utilisée pour étudier les effets de la distraction au volant est l'autodéclaration des conducteurs. Les données sont généralement recueillies à l'aide de questionnaires dans lesquels les participants sont interrogés sur la fréquence et l'intensité de leurs comportements de distraction. Parfois, les participants sont également interrogés lors d'entretiens individuels ou téléphoniques. Certains auteurs mettent en doute la valeur de l'autodéclaration (Singh & Kathuria, 2021). Kaye et ses collègues (2018) soutiennent qu'il existe effectivement des différences significatives entre les évaluations subjectives et les mesures objectives du comportement de conduite.

## 3.5 Prévalence et accidents

### 3.5.1 Prévalence et acceptabilité

La prévalence de la distraction au volant en Belgique est, entre autres, estimée dans le Briefing le plus récent de l'institut Vias sur ce sujet. Boets (2023) indique que les conducteurs sont distraits pendant environ la moitié du temps de conduite. En outre, 26% des conducteurs belges admettent avoir récemment envoyé des SMS en conduisant, et 21,1% déclarent avoir téléphoné en tenant leur appareil en main pendant la conduite.

Des indications sur la prévalence de la distraction au volant en Belgique proviennent également de certaines enquêtes ESRA (E-Survey of Road Users' Attitudes). ESRA est une initiative mondiale visant à collecter et analyser des données comparables sur la performance et la culture de la sécurité routière. Des thèmes spécifiques, dont la distraction, sont régulièrement abordés à l'échelle internationale. Des indicateurs de distraction peuvent être obtenus à partir des réponses à trois questions : combien de fois avez-vous, au cours des 30 derniers jours, téléphoné en tenant votre téléphone, téléphoné mains libres, ou lu des messages ou consulté les réseaux sociaux ? La dernière enquête (Belgium - ESRA3 Country Fact Sheet, 2024) révèle qu'environ un cinquième (18%) des conducteurs belges ont déclaré avoir téléphoné en tenant leur appareil au moins une fois au cours du mois précédent, plus de la moitié (55%) ont téléphoné en mains libres, et près d'un quart (23%) ont affirmé avoir lu un message ou consulté les réseaux sociaux. Les prévalences européennes<sup>5</sup> équivalentes, correspondant aux données belges, sont respectivement de 22% (min 15% – max 49%), 51% (min 39% – max 76%) et 23% (min 14% – max 41%) (ESRA3 dashboard, 2024). Ces comportements, fortement liés à la distraction, sont fréquents. Les conducteurs européens n'estiment pas non plus que les conséquences de ces comportements soient particulièrement graves. Les réponses à des questions sur l'acceptabilité de ces comportements montrent que pour téléphoner mains libres, l'acceptabilité est élevée : 45% des répondants belges considèrent ce comportement comme acceptable. Cependant, l'acceptabilité du téléphone en main et de la lecture de messages ou de réseaux sociaux est beaucoup plus faible en Belgique, avec un peu plus de 3% d'acceptabilité pour ces deux comportements. La Belgique n'est pas une exception à cet égard : les équivalents européens sont respectivement de 39% (min 23% – max 71%), 4% (min 2% – max 10%) et 3% (min 1% – max 5%) (ESRA3 dashboard, 2024). Malgré tout, la plupart des Belges soutiennent une interdiction légale stricte de l'utilisation du téléphone en main pour tous les véhicules motorisés. Selon les résultats ESRA, 84% des Belges soutiennent une telle interdiction, avec une moyenne européenne de 79% (min 64% - max 89%).

### 3.5.2 Accidents

Le nombre exact d'accidents de la route imputables à la distraction est difficile à déterminer. Dans un rapport récent de l'Observatoire européen de la sécurité routière (Commission européenne, 2023), on estime qu'en 2022, 25% des accidents mortels et 29% des accidents corporels en Autriche étaient probablement dus à la distraction ou à l'inattention. Selon le Briefing le plus récent de l'institut Vias sur la distraction, environ 150 décès par an parmi les automobilistes en Belgique sont attribuables à la distraction, dont un tiers est lié à l'utilisation manuelle du téléphone (Boets, 2023). Ce même document indique que l'utilisation du téléphone en main augmente le risque d'accident d'un facteur de 3,6. Pour certaines actions spécifiques, ce risque est encore plus élevé : le fait de composer un numéro augmente le risque par 12, et la rédaction de messages par 6.

Sur d'autres continents, les chiffres sont comparables. Le rapport précité indique qu'en 2021, la distraction était un facteur dans 8% des accidents mortels, 14% des accidents corporels et 13% de tous les accidents de la circulation signalés par la police impliquant des véhicules motorisés aux États-Unis. Un an plus tard, ces chiffres ont été confirmés. En 2024, la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) a publié des statistiques similaires : 8% des accidents mortels, 12% des accidents corporels et 11% de tous les accidents de la circulation signalés par la police en 2022 étaient présumés liés à la distraction (NHTSA, 2024). Dans cette même étude, il est estimé qu'en 2022, 3308 personnes sont décédées et environ 289310 ont été blessées dans des accidents de la route impliquant des conducteurs distraits aux États-Unis.

---

<sup>5</sup> 22 pays de l'UE

Des données de recherche provenant du Canada confirment également l'ordre de grandeur des chiffres d'accidents et donnent un aperçu de certaines tendances évolutives (Brown et al., 2024). Par exemple, elles indiquent que bien que le nombre de victimes mortelles diminue généralement, la proportion de victimes d'accidents impliquant un certain degré de distraction augmente. Cela s'explique par le fait que les deux types de victimes mortelles diminuent, mais que le nombre de victimes liées à la distraction diminue beaucoup moins. Dans les données canadiennes, entre 2000 et 2021, ce dernier type diminue de seulement 22%, tandis que la baisse est de 53% pour les victimes mortelles non liées à la distraction. Lorsque l'on prend en compte non seulement le conducteur distrait dans les calculs des victimes mortelles, mais aussi les autres parties éventuellement impliquées, Brown et ses collègues (2024) rapportent même qu'entre 2000 et 2021, le nombre d'accidents mortels augmente. Ainsi, lorsque l'on comptabilise toutes les victimes mortelles, tant les conducteurs distraits que les autres victimes, on constate une augmentation des accidents mortels au Canada, passant de 19% en 2000 à près de 29% en 2021. De plus, ces accidents mortels dus à la distraction impliquaient davantage de victimes non distraites (passagers, piétons ou conducteurs d'autres véhicules) que de conducteurs distraits.

Une image similaire est obtenue lorsqu'on utilise d'autres méthodologies. Les résultats de recherches sur la conduite naturaliste suggèrent même que le pourcentage d'accidents liés à la distraction pourrait être encore plus élevé. Dans l'étude de Dingus, 68% des 905 accidents ayant causé des blessures et/ou des dommages matériels impliquaient une forme quelconque de distraction visible (Dingus et al., 2016). Dans cette même étude, on estime que plus de la moitié des trajets (52 %) des conducteurs comportait une activité potentiellement distrayante, et que pendant ces trajets, leur risque d'accident était deux fois plus élevé que la normale.

Liang et Yang (2022) ont étudié quels types de distractions entraînent plus ou moins un accident dans lequel le conducteur (distracté et) était en tort. Ils ont constaté que les objets dans le véhicule, les appareils mobiles, les événements à l'extérieur de la voiture et les systèmes IVIS étaient les principales sources de distraction.

### 3.6 Âge et sexe

Tout le monde ne semble pas être également sensible aux effets de la distraction. Certains auteurs suggèrent ainsi que l'âge et le sexe pourraient jouer un rôle déterminant. Dans une étude récente, Liang et Yang (2022) soutiennent que la présence ou l'absence de tendances générales concernant la distraction peut être influencée par des facteurs tels que l'âge et le sexe. Ils montrent qu'il existe bien des interactions entre l'âge et le sexe dont il faut tenir compte lors de l'interprétation des résultats des effets de la distraction. Ils concluent donc qu'il est pertinent de tenir compte de différents groupes d'âge et des sexes lors de l'évaluation des risques. Dans leur étude, ils ont examiné les effets de différents types de distractions, de l'âge et du sexe sur les accidents où le conducteur était en tort. Leurs résultats montrent que la prévalence de différents types de distractions varie selon le groupe d'âge. Par exemple, ils constatent que les adolescents (16-19 ans) sont les plus distraits par les interactions avec les passagers, suivis par les divertissements et les appareils mobiles. Les adultes (20-64 ans) sont le plus souvent distraits par les interactions avec les passagers, puis par les événements à l'extérieur de la voiture et les appareils mobiles. Chez les conducteurs plus âgés (65 ans et plus), les principales distractions sont les interactions avec les passagers, suivies par les événements à l'extérieur de la voiture. Le divertissement arrive en troisième position. Ils concluent que les personnes âgées dans leur étude sont les moins susceptibles de céder à la distraction. En effet, environ 60% de ce groupe ne souffre d'aucune distraction, tandis que chez les jeunes et les adultes, ce taux se situe entre 41% et 45%.

Les variations d'attention selon l'âge sont bien documentées (Cooper et al., 2020). Par exemple, les conducteurs plus âgés ont souvent plus de difficultés à répartir leur attention entre plusieurs tâches par rapport aux conducteurs plus jeunes. Il n'est donc pas surprenant que les personnes de différentes tranches d'âge soient affectées différemment par les influences de la distraction. Ces différences sont par exemple démontrées dans une expérience menée par Cooper et ses collègues (2020). Dans leur article, ils rapportent une étude sur les différences liées à l'âge en ce qui concerne les exigences cognitives, visuelles et temporelles des IVIS. Il en ressort que les conducteurs âgés (55-75 ans) ressentent une charge de travail plus importante que les jeunes conducteurs (21-36 ans) lors de l'utilisation des IVIS. De plus, ils ont des temps de réaction plus lents et prennent plus de temps pour accomplir toutes les tâches. Les auteurs concluent que l'utilisation des IVIS pendant la conduite est une charge pour tout le monde, mais encore plus pour les conducteurs âgés. En effet, la même tâche IVIS impose une charge cognitive et visuelle relativement plus élevée sur le système de traitement de l'information des conducteurs âgés. Ils notent spécifiquement que les personnes âgées de

leur étude semblaient surtout éprouver des difficultés à concentrer et à maintenir leur attention sur la route lorsqu'elles utilisaient les IVIS.

Liang et Yang (2022) confirment ensuite l'existence de différences de sexe et d'interactions entre l'âge et le sexe lors de l'analyse des accidents où le conducteur était (distrain et) en faute. Cela se démontre par l'analyse des rapports de cotes (odds ratio, OR) liés aux différents types de distraction pour chaque groupe dans le contexte des 'accidents en tort'. L'odds ratio mesure la force de l'association entre, dans ce cas, le type de distraction et un accident où le conducteur était en tort. Un OR supérieur à 1 signifie que la distraction accroît la probabilité d'un tel accident<sup>6</sup>. Par exemple, un OR de 10 est dix fois plus élevé qu'un OR de 1. Les appareils mobiles affichent un OR élevé pour toutes les combinaisons d'âge et de sexe, à l'exception des femmes âgées (65 ans et plus). L'OR était le plus élevé chez les hommes âgés (65 ans et plus), atteignant 8,1<sup>7</sup>. Les objets présents dans la voiture montrent également un OR élevé pour tous les groupes, variant de 5,56 pour les adolescents masculins à 13,27 pour les hommes âgés. L'IVIS présentait un OR accru chez les adolescents masculins (OR = 3,12), les femmes adultes (OR = 2,53), les hommes (OR = 2,49) et les femmes âgées (OR = 4,12), mais pas chez les adolescentes et les hommes âgés. Nous concluons de cette étude que les effets d'interaction sont complexes et qu'ainsi, il n'est pas juste de dire que tout le monde est affecté ou distrait de la même manière.

Les résultats des données canadiennes mentionnées précédemment (Brown et al., 2024) montrent également des différences d'âge et de sexe. L'analyse des victimes mortelles sur l'autoroute (2017-2021) révèle que 19% des conductrices mortellement blessées étaient distraites, contre 'seulement' 16% des conducteurs masculins. Des différences d'âge ont également été constatées. Les pourcentages les plus élevés de conducteurs mortellement blessés distraits se trouvent dans les catégories d'âge les plus jeunes (16-19 ans : 21%) et les plus âgées (65 ans et plus : 20%). La tranche d'âge 45-54 ans présente les meilleurs résultats avec 'seulement' 12% de conducteurs mortellement blessés distraits. Il y a beaucoup de débats sur les différences entre les sexes. En général, il est rapporté que les conducteurs masculins conduisent plus souvent 'distrainés' et adoptent un comportement de conduite plus risqué (Barr et al., 2015; Lyon et al., 2020). Robertson et ses collègues (2017) suggèrent que les différences défavorables aux conductrices observées dans l'étude canadienne pourraient être expliquées par un biais de rapportage. En effet, davantage de conducteurs masculins ont également été testés positifs à l'alcool, ce qui a peut-être réduit la conclusion que la distraction était un facteur contributif à l'accident mortel. Cela signifierait qu'il y aurait un 'sous-codage' de la distraction chez les conducteurs masculins. En ce qui concerne les différences d'âge, Brown et ses collègues (2024) suggèrent que les jeunes conducteurs sont plus sensibles à la distraction en raison de leur manque d'expérience au volant, tandis que les conducteurs plus âgés le sont davantage en raison d'une diminution de leurs capacités cognitives. Cela pourrait expliquer pourquoi les groupes d'âge intermédiaires 'font un peu mieux'. Cependant, les auteurs nuancent cette conclusion. Ils affirment en effet que les conducteurs des catégories intermédiaires sont potentiellement plus exposés aux accidents dus à la distraction: d'une part, ils parcourent plus de kilomètres que les conducteurs plus jeunes et plus âgés, et d'autre part, ils ont également plus de responsabilités liées au travail et à la famille, ce qui les rend potentiellement plus enclins à la distraction pendant la conduite.

### 3.7 Affections médicales

Tout comme l'âge et le sexe sont proposés comme facteurs déterminants influençant la distraction par les IVIS, il est parfois suggéré que les systèmes d'information et/ou d'assistance à la conduite peuvent affecter la performance de conduite dans certaines populations de patients. Giang et ses collègues (2023) concluent dans leur étude que les patients atteints de la maladie de Parkinson peuvent en effet améliorer leurs performances de conduite en utilisant une technologie d'assistance à la conduite. Cependant, lorsque cette technologie ne fait qu'alerter, sans corriger activement, elle ne semble pas apporter de bénéfices. Les auteurs expliquent cela par la capacité d'attention réduite et donc limitée au sein de la population concernée. Étant donné que la charge cognitive est déjà (trop) élevée en raison de la tâche de conduite, les informations supplémentaires ne peuvent pas être traitées, ce qui empêche d'en tirer un avantage. Sur la base de ce même cadre théorique, on peut conclure que la qualité de la tâche de conduite diminuera si ces patients continuent à prêter attention à des tâches supplémentaires. Ils sont donc plus sensibles aux effets négatifs des tâches nécessitant une attention supplémentaire. Comme l'attention et la capacité d'attention sont considérées par les scientifiques

<sup>6</sup> en tenant compte d'un intervalle de confiance

<sup>7</sup> Nous rapportons quelques OR significatifs

comme le fruit de la coopération de différentes parties et structures du cerveau (Rueda et al., 2015), il n'est donc pas surprenant que des troubles de l'attention se manifestent dans différentes pathologies. Ainsi, des troubles de l'attention sont observés, entre autres, chez les personnes atteintes de TDAH et de TDA (Tucha et al., 2017), de démence comme la maladie d'Alzheimer (Ballard et al., 2001), de lésions cérébrales acquises (Park & Ingles, 2001), de sclérose en plaques (Chiaravalloti & DeLuca, 2008), de dépression et de troubles bipolaires (Keller et al., 2019), de troubles anxieux (Barry et al., 2015), de schizophrénie (Luck & Gold, 2008), de troubles du sommeil (Fulda & Schulz, 2001), de syndromes douloureux (Duckworth et al., 1997), de carence en vitamine B12 (Sahu et al., 2022), et de la maladie de Huntington (Thompson et al., 2010). Chez la plupart des groupes de patients, les effets négatifs de la distraction sont amplifiés par la maladie. Cependant, il existe des preuves que l'inverse peut également être vrai, c'est-à-dire qu'une tâche supplémentaire peut avoir un effet bénéfique. Par exemple, on pense que les personnes atteintes de TDAH sont généralement dans un état de 'sous-stimulation'. Elles pourraient donc bénéficier d'une tâche supplémentaire, contrairement à la plupart des autres affections. C'est aussi la raison pour laquelle des médicaments stimulants sont parfois prescrits aux personnes atteintes de TDAH et de TDA (Fone & Nutt, 2005).

Lors de deux réunions d'experts organisées par le Centraal Bureau Rijvaardigheid (CBR, Pays-Bas) en juin 2024, auxquelles a participé l'un des auteurs de ce rapport, il a été conclu que l'utilisation de systèmes IVIS et ADAS impose généralement une charge supplémentaire à un système déjà affecté par la pathologie. Par conséquent, les effets négatifs peuvent augmenter de manière exponentielle en raison de la pathologie. En ce qui concerne les pathologies cognitives, notamment chez les personnes atteintes de démence et celles ayant un TDAH, il existe un consensus sur le fait qu'il ne faut pas supposer que les effets de l'utilisation des systèmes IVIS (et ADAS) sur 'la population générale' soient identiques à ceux observés dans n'importe quelle population de patients (M. Dermois, communication personnelle, 6 mai 2024). En effet, dans certains cas, il est évident que le fonctionnement du 'cerveau de patient' diffère de celui d'un 'cerveau normal' : d'autres mécanismes peuvent être en jeu. Par conséquent, ce qui constitue une charge légère pour la plupart des gens peut représenter une 'charge majeure' pour le cerveau de patient. Lors de la session d'experts sur les déficiences visuelles (c'est-à-dire le glaucome et la dégénérescence maculaire) (M. Dermois, communication personnelle, 18 juin 2024), il a été conclu que les effets secondaires pour la population de patients peuvent être fortement influencés par des détails qui sont considérés comme mineurs pour la population ayant une bonne vision. Cela inclut des éléments tels que les réglages de contraste de l'écran, l'éclairage intérieur du véhicule, les nuances de couleur utilisées et la position de l'écran dans le champ de vision. Les experts présents ont recommandé de ne pas surcharger les canaux de traitement de l'information déjà réduits par la maladie (c'est-à-dire les composants du traitement visuel). Pour les groupes de patients atteints de déficiences visuelles, cela signifie éviter autant que possible un traitement d'informations visuelles supplémentaires et de privilégier d'autres modalités telles que la voix, l'audition et le toucher.

Dans certains cas, les conducteurs déjà 'limités' peuvent également éviter une charge supplémentaire afin de ne pas, ou moins rapidement, se retrouver en situation de 'surcharge'. Autrement dit, ils pourraient choisir de ne pas effectuer de tâches supplémentaires pendant la conduite. Ils utilisent alors un mécanisme de compensation comportementale. Cela nous amène à un concept important : l'autorégulation.

### 3.8 Autorégulation

Ce qui précède pourrait donner l'impression que le conducteur est en quelque sorte victime de la distraction, un simple récepteur passif. Cependant, les conducteurs peuvent évidemment, dans certains cas, choisir de ne pas se laisser distraire et de ne se concentrer que sur les tâches strictement nécessaires pour participer à la circulation en toute sécurité. Faire un tel choix est associé au concept d'autorégulation. En termes généraux, l'autorégulation est la capacité de contrôler et de gérer son propre comportement, ses pensées et ses émotions (Baumeister & Vohs, 2004 ; Wandtner et al., 2016). L'autorégulation est considérée comme une fonction cognitive complexe qui se développe au fil des années. La recherche en neurosciences cognitives suggère que le succès de l'autorégulation dépend du contrôle descendant du cortex préfrontal sur les zones sous-corticales impliquées dans l'expérience de la récompense et des émotions (Baumeister & Vohs, 2004 ; Heatherton & Wagner, 2011). Étant donné que cette fonction cognitive est considérée comme un produit du cortex préfrontal, nous pouvons supposer qu'elle est pleinement développée à l'âge adulte et qu'elle continue de se former à travers les expériences, les processus d'apprentissage et la croissance personnelle (Baumeister & Vohs, 2004).

L'autorégulation n'est pas un concept nouveau dans la littérature scientifique sur la sécurité routière. Il est ainsi avancé pour expliquer pourquoi certains conducteurs âgés conduisent moins souvent, évitent les situations de circulation difficiles ou arrêtent même de conduire (Gwyther & Holland, 2012).

Dans le contexte de la distraction au volant, l'autorégulation fait référence à la capacité des conducteurs à réguler leur implication dans des tâches secondaires pendant la conduite. L'autorégulation peut être définie comme la capacité du conducteur à évaluer les exigences des différentes situations de conduite, à anticiper et à décider ensuite si, quand et comment une tâche secondaire ou des tâches peuvent être effectuées sans que la tâche de conduite et la sécurité ne soient compromises. L'autorégulation a un effet bénéfique sur la qualité de la tâche de conduite. Dans l'expérience de Wandtner et ses collègues (2016), deux groupes de conducteurs ont été comparés : un groupe pouvait décider lui-même s'il effectuait une tâche secondaire et quand, tandis que l'autre groupe ne le pouvait pas. La qualité de la performance de conduite du groupe de conducteurs autorégulés était meilleure que celle de l'autre groupe. Ces conducteurs autorégulés se préoccupaient moins de la tâche secondaire lors de situations de conduite prévisiblement exigeantes ou difficiles. L'autorégulation se manifeste, par exemple, par une meilleure adaptation de la vitesse et de la distance de suivi à la situation de trafic. Dans l'expérience mentionnée, le groupe autorégulé roulait en moyenne plus lentement et respectait une plus grande distance par rapport au véhicule précédent que les conducteurs distraits. Rouler plus lentement et maintenir une plus grande distance de sécurité peut être vu comme une réduction de la charge cognitive et donc de la capacité d'attention requise. Cela décharge donc le système de traitement de l'information (par rapport au groupe de conducteurs distraits) et libère plus de capacité à investir dans la tâche de conduite. Surtout dans des situations de trafic plus complexes, qui nécessitent donc beaucoup de capacité de traitement, cette capacité 'non sollicitée' peut faire la différence entre une réaction adéquate ou non. L'effet bénéfique de ne pas investir de capacité d'attention supplémentaire dans une tâche secondaire est donc plus important dans des situations complexes (critiques). L'autorégulation est donc la capacité qui permet au conducteur d'évaluer si et quand une tâche secondaire peut être ajoutée à la tâche de conduite, en fonction de la complexité des conditions de conduite actuelles et prévues.

## 4 Méthodologie

Nous avons choisi de réaliser une expérience avec un véhicule réel sur un circuit fermé. Cela nous permet de combiner une validité écologique relativement élevée avec de nombreuses options de manipulation. Dans ce qui suit, nous allons présenter le véhicule, le circuit fermé, les participants ainsi que les méthodes de mesure et de manipulation employées. En résumé, nous menons une étude de terrain 'intra-sujets' en utilisant trois modalités différentes (conditions) d'interaction avec les IVIS, tout en recourant aux mêmes applications IVIS (tâches) à chaque fois. Nous effectuerons également le même parcours sans tâches IVIS (condition Contrôle).

### 4.1 Participants

Les participants ont été recrutés par une agence de recrutement entre le 22 septembre 2023 et le 7 novembre 2023. Pour cette étude, les participants devaient être néerlandophones, âgés de 20 à 50 ans, titulaires d'un permis de conduire de catégorie B et avoir au moins 1 an d'expérience de conduite avec une voiture particulière. Les participants ne devaient pas avoir de troubles (neuro-)ophtalmologiques connus. En raison de possibles interférences avec l'équipement de mesure, la prise de bêta-bloquants ou de médicaments cardiaques, ainsi que le port d'un pacemaker ou d'un défibrillateur interne étaient des critères d'exclusion supplémentaires. Le port de lunettes n'était pas permis pendant l'expérience, tandis que les lentilles de contact étaient autorisées. Comme il sera expliqué plus loin, l'équipement utilisé pour mesurer les mouvements oculaires comprend notamment une paire de lunettes. En général, le fait de porter deux paires de lunettes en même temps peut entraîner des complications techniques. Le recrutement s'est d'abord concentré sur les participants vivant près du site de test et disponibles aux horaires prévus. Les journées de test ont été programmées les samedis consécutifs, allant du 30 septembre 2023 au 4 novembre 2023. La distance entre le domicile et le site de test a été progressivement élargie jusqu'à ce que le nombre souhaité de participants soit atteint. Parmi un groupe de 70 personnes, 33 ont finalement participé à l'expérience dans son intégralité. Une récompense de 25 euros par participant a été proposée dans le cadre du système de points de l'agence de recrutement.

Tous les participants ont été informés à plusieurs reprises sur l'objectif et la méthodologie de l'étude, notamment dans le cadre du recrutement et à nouveau au moment de l'expérience. Ils ont été informés entre autres sur le contexte et l'objectif de l'étude, la collecte de données et le respect du Règlement Général sur la Protection des Données. Chaque participant a donné son accord préalable via un consentement éclairé.

### 4.2 Le parcours et le véhicule

Les trajets de test étaient identiques pour tous les participants et conditions. Ils se sont déroulés sur un circuit fermé au Lommel Proving Ground. La piste de test était une combinaison de la Piste #17 (ISO Curve Road, couleur brune) et de la Piste #18 (ADAS Area, couleur cyan) (voir Figure 2). À partir d'un point de départ et d'arrivée fixes, le parcours se faisait sur la Piste #17 dans le sens des aiguilles d'une montre. La Piste #17 est une boucle de 2,4 km de long, avec deux voies et plusieurs virages, permettant d'atteindre des vitesses plus élevées. Cette partie du circuit est comparable à une route régionale en dehors des zones urbaines. Cette partie est appelée le segment rapide du circuit. Cette piste donne accès à la Piste #18, le segment plus lent. C'est une zone avec différentes routes et intersections. Cette partie est comparable à une route en zone urbanisée avec des limites de vitesse standards de 30-50-70 km/h. Différents panneaux de signalisation y sont placés et des instructions verbales ont été données pour suivre le parcours local. Après le parcours local plus lent, on peut à nouveau se connecter au segment rapide pour retourner au point de départ et d'arrivée. Pendant les trajets expérimentaux, la Piste #17 (le segment rapide) a été parcourue deux fois complètement avant de tourner vers la Piste #18 (le segment plus lent) lors du troisième tour. Après le parcours local sur la Piste #18, il a été terminé par une petite section de la Piste #17 jusqu'au point de départ et d'arrivée. Un trajet de test mesurait environ 35 km.



Figure 2 Vue d'ensemble des pistes de test au Lommel Proving Ground

Le véhicule était un Ford Kuga Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Il était équipé d'une boîte d'enregistrement d'événements. Une bande LED a été placée sur le tableau de bord devant le conducteur et pouvait être activée par l'expérimentateur. Un support universel pour smartphone a été monté sur le pare-brise. En plus du conducteur, deux autres personnes étaient présentes dans le véhicule. L'expérimentateur à l'avant était responsable des instructions et de la sécurité. L'expérimentateur à l'arrière du véhicule vérifiait le bon fonctionnement de l'équipement de mesure.

### 4.3 Les conditions et les tâches

L'utilisation de l'info-divertissement a été opérationnalisée de différentes manières. Trois systèmes opérationnels ont été utilisés au total, un par trajet expérimental. Ce sont trois façons dont les IVIS peuvent être utilisés dans un véhicule sans interventions techniques ou autres supplémentaires. Les trois conditions expérimentales sont les suivantes :

- 'Phone Standalone' : Dans cette condition, nous utilisons les IVIS via l'écran du smartphone (dans le support approprié). Le smartphone n'est pas connecté au véhicule.
- 'Car Connect' : Dans cette condition, nous connectons le smartphone au véhicule via un câble USB et utilisons les IVIS, non pas via le smartphone, mais via l'écran du véhicule.
- 'Phone Connect' : Dans cette condition également, nous connectons le smartphone au véhicule via un câble USB, mais utilisons néanmoins l'écran du smartphone.

Ces conditions seront comparées à une condition où aucun IVIS n'est utilisé :

- 'Condition Contrôle' : Aucun smartphone n'est présent. L'écran de la voiture est allumé mais n'est pas utilisé. C'est l'écran de départ standard.

Ces possibilités IVIS diffèrent entre les trois conditions expérimentales. Nous avons choisi de travailler avec les paramètres techniques standards des dispositifs et de la voiture. En conséquence, les fonctionnalités IVIS de certaines applications sont limitées. Dans les conditions Phone Standalone et Phone Connect, toutes les

fonctionnalités du smartphone et des applications peuvent être utilisées. En revanche, dans la condition Car Connect, l'utilisation de certaines applications IVIS est limitée par le logiciel (de manière standard) : par exemple, aucune image ne peut être affichée et aucun clavier virtuel ne peut être utilisé. Ces limitations et leurs conséquences pour les tâches IVIS sont décrites plus en détail dans les sections respectives sur les applications IVIS.

Chaque participant a été soumis à ces trois conditions expérimentales. L'ordre a été randomisé.

Pour ces trois conditions expérimentales, deux smartphones différents ont été utilisés, au choix des participants : un iPhone 11 (avec système d'exploitation iOS) et un Samsung Galaxy A22 (avec système d'exploitation Android). Les deux ont des tailles d'écran et une qualité sonore comparables<sup>8</sup>. Ils ont été placés dans un support universel à un endroit identique pour tous les participants, c'est-à-dire fixé au pare-brise, au niveau du prolongement de la console centrale. Les participants ont utilisé le même smartphone pour toutes les conditions. Figure 3 illustre la position du smartphone et de l'écran de la voiture.

Tous les participants ont eu l'occasion de se familiariser avec la voiture, les conditions de conduite sur le circuit, et la manière dont les instructions étaient données. Pour cela, l'ensemble du parcours a été parcouru une première fois sans aucune manipulation ni enregistrement des données. Ce n'est qu'après cela que les tâches ont commencé et que les mesures ont été enregistrées. Avant de commencer la première des conditions expérimentales, chaque participant a roulé sur le circuit sans utiliser les IVIS, ce qui constituait la condition Contrôle. C'est lors de ce trajet que la référence de base a été établie pour chacun. Dans les conditions Contrôle et expérimentales, il était demandé aux participants de conduire comme on le ferait normalement, de respecter les règles de circulation (limite de vitesse de 70 km/h sauf indication contraire), de conduire à la vitesse autorisée et de ne pas utiliser le régulateur de vitesse. Ils devaient également prêter attention aux panneaux de signalisation et ralentir au niveau des priorités à droite, surtout si la présence d'un véhicule était incertaine. Il a été clairement indiqué à l'avance quand il fallait tourner à gauche ou à droite.



Figure 3 Illustration de la position des écrans du smartphone et du véhicule, et de la bande LED.

En plus de la conduite normale, les participants ont été invités à effectuer plusieurs tâches spécifiques. Dans toutes les conditions, il a été demandé d'arrêter le plus rapidement possible (arrêt d'urgence) lorsque la bande LED s'allumait (voir également Figure 3 et Figure 5). Dans les conditions expérimentales, des tâches IVIS supplémentaires ont été effectuées.

Dans les trois conditions expérimentales, différentes tâches liées aux IVIS ont été réalisées. Ces tâches ont été choisies parmi celles de la sphère professionnelle et privée :

- Suivi d'une présentation en ligne via Microsoft Teams
- Envoi d'un message WhatsApp
- Recherche dans une liste Spotify

Ces tâches ont été effectuées par les participants à des endroits similaires sur le circuit et dans le même ordre. Ces endroits ont été choisis de manière stratégique (voir Figure 4). Une description plus détaillée de ces tâches est fournie ci-dessous.

<sup>8</sup> Il a été veillé à ce que les réglages audio soient comparables entre les deux smartphones et qu'ils ne soient pas modifiés pendant la période de test.

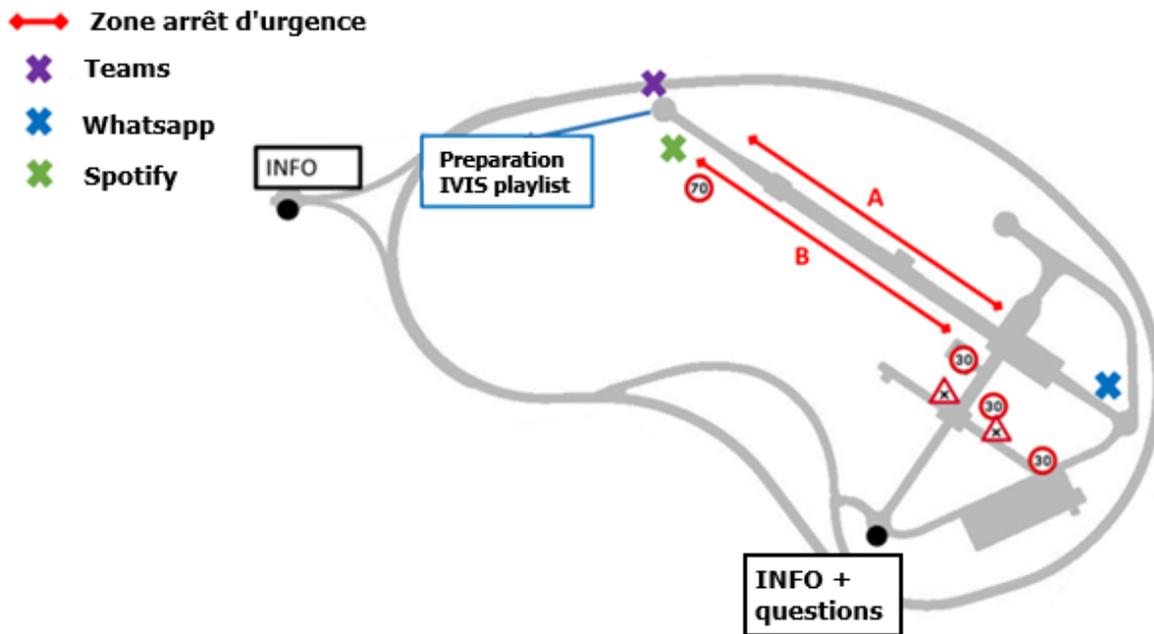


Figure 4 Le circuit avec les emplacements des différentes tâches

## 4.4 Les tâches pendant la conduite

Comme mentionné précédemment, chaque parcours de test couvrait environ 35 km et se composait d'une section 'plus rapide' (circulation fluide) et d'une section 'plus lente' (zone 30-50-70). Il était demandé de conduire comme on le ferait normalement, à la vitesse autorisée (70 km/h sauf indication contraire), sans utiliser le régulateur de vitesse. Les priorités de droite et les panneaux de signalisation devaient être respectés. En plus de la 'tâche de conduite normale', plusieurs tâches supplémentaires ont été effectuées et des situations ont été créées. Elles ont été brièvement mentionnées ci-dessus. Voici une description plus détaillée.

### 4.4.1 L'arrêt d'urgence

Pour évaluer l'état d'alerte et le temps de réaction des participants, ils devaient effectuer un arrêt d'urgence lorsque la bande LED devant eux sur le tableau de bord s'allumait (voir Figures 3 et 5). La bande LED était activée par un bouton-poussoir, actionné par l'expérimentateur à l'avant. Les arrêts d'urgence ont été réalisés dans les conditions Contrôle et expérimentales. Dans les conditions expérimentales, la bande LED était initiée pendant la rédaction du message et lors du défilement dans la liste de lecture Spotify. Dans la condition Contrôle, les deux arrêts d'urgence étaient effectués à peu près au même endroit sur le circuit.



Figure 5 Illustration de la position des écrans du smartphone et du véhicule, et de la bande LED activée.

## 4.4.2 Les tâches IVIS

Dans les trois conditions expérimentales, trois tâches IVIS ont été réalisées. Les différentes tâches étaient effectuées dans le même ordre et commençaient à peu près au même endroit sur le circuit. D'abord, la réunion en ligne était suivie. Cette tâche était effectuée sur le premier tronçon plus rapide du circuit. Les tâches suivantes étaient réalisées sur la deuxième partie plus lente du circuit. D'abord, l'application de messagerie était ouverte, puis un message était envoyé. Ensuite, l'application Spotify était utilisée, suivie par l'application Waze. Comme ces tâches (dans cet ordre) étaient effectuées trois fois, chaque tâche avait également trois versions différentes. Ces tâches IVIS sont maintenant décrites plus en détail.

### 4.4.2.1 Suivi d'une présentation en ligne

La première tâche IVIS consistait à suivre une présentation en ligne via Microsoft Teams<sup>9</sup>. Chaque participant a suivi trois présentations différentes, une pour chaque condition expérimentale, chacune sur un sujet spécifique : 'Fromage Mozzarella', 'Récifs coralliens' et 'Le Vésuve'. Elles ont été présentées dans cet ordre dans les conditions randomisées. Étant donné qu'il était impossible d'organiser toutes les présentations en direct, elles ont été préenregistrées et commentées par le responsable de la presse néerlandophone de l'institut Vias. Elles ont ensuite été lues au format mp4 via le smartphone. Les vidéos avaient une durée de lecture entre 2 minutes 17 secondes et 2 minutes 39 secondes. L'effet visuel et auditif est le même que celui d'une véritable réunion en ligne. La réunion était lancée par l'expérimentateur à l'avant du véhicule. Les participants étaient invités à suivre la présentation attentivement et informés que des questions sur le contenu seraient posées après, avant de commencer la partie plus lente du circuit.

En raison des différences techniques entre les conditions expérimentales, deux versions des présentations ont été réalisées : une version visuelle-auditive et une version auditive. Dans la condition Car Connect, aucun matériel visuel ne peut être affiché. Il n'y avait donc rien à voir sur l'écran. Les informations étaient uniquement présentées par audio. Dans les deux autres conditions expérimentales, les informations auditives étaient également soutenues visuellement (voir Figure 6 pour une illustration).

Chaque présentation contenait une erreur de contenu relativement flagrante. Lorsque le soutien visuel était présent, l'erreur était visible sur l'écran (voir par exemple Figure 6); dans les autres cas, l'erreur était énoncée oralement. Par exemple, il était dit que la mozzarella fraîche est noire et devient blanche plus tard en fonction du régime alimentaire de la bufflonne, que la mer Rouge est située au large de la côte belge, ou que l'intensité d'un tremblement de terre est mesurée avec l'échelle de Beaufort. La clarté et la compréhension des vidéos et des extraits audio ainsi que la pertinence des erreurs ont été confirmées dans une étude pilote préalable<sup>10</sup>. Les textes des présentations lues sont disponibles en Annexe 1 – Textes des présentations Teams. Une illustration des présentations PowerPoint est disponible en Annexe 2 – Présentations PowerPoint.



Figure 6 Illustration d'une réunion Microsoft Teams

<sup>9</sup> Les présentations sont basées sur le travail du professeur Marc Brysbaert (avec autorisation).

<sup>10</sup> Les données de cette étude pilote sont disponibles sur demande auprès des auteurs.

#### 4.4.2.2 Utilisation de WhatsApp

La deuxième tâche consistait à utiliser l'application de messagerie WhatsApp. D'abord, le participant devait ouvrir l'application, mais cette étape n'a pas été intégrée aux analyses. À un moment ultérieur pendant le trajet, il était demandé d'envoyer un message à un destinataire spécifique. Ce n'était pas l'efficacité de l'envoi du message qui était analysée, mais l'effet de cette action sur la performance de conduite. Les deux tâches (ouvrir et envoyer) étaient annoncées à l'avance et répétées lorsque le participant devait les exécuter. Cela se faisait toujours à peu près au même endroit sur le circuit. Il y avait trois variantes différentes pour l'envoi du message, une pour chaque condition expérimentale. Elles étaient randomisées entre les conditions expérimentales. Il y avait trois destinataires différents (Patron, Maman, ou Collègue). Un devait donc être sélectionné. Pour chaque destinataire, un message spécifique devait être rédigé : respectivement 'La réunion a débordé, je suis en route pour le bureau', 'Je serai un peu en retard pour notre dîner' et 'Quand était encore ce rendez-vous ?'. Dans la condition Car Connect, en raison d'une limitation technique (standard), aucun clavier virtuel n'était disponible et la commande vocale devait donc être utilisée. Lors de la rédaction du message, l'expérimentateur activait la bande LED, puis un arrêt d'urgence devait être effectué.

#### 4.4.2.3 Utilisation de Spotify

Pour la troisième tâche, un titre spécifique devait être sélectionné dans une liste de lecture Spotify. Ce n'était pas l'efficacité de cette action qui était analysée, mais son effet sur la performance de conduite. L'application et la liste de lecture étaient ouvertes par l'expérimentateur à l'avant. Cette tâche était annoncée à l'avance et répétée lorsque le participant devait la réaliser. Cela se faisait toujours à peu près au même endroit sur le circuit. Avant l'expérience, une liste de lecture Spotify IVIS a été créée. Elle comprenait 70 titres. Plusieurs titres avaient le même nom (par exemple SOS) ou la même couleur d'album. Les titres avec le même nom étaient regroupés dans la liste. Nous avons conçu la liste de manière à ce que les titres avec la même couleur d'album soient également regroupés (voir Figure 7). Il y avait trois différentes tâches Spotify : 'Sélectionnez la chanson SOS d'ABBA', 'Sélectionnez le 2<sup>ème</sup> album jaune' et 'Sélectionnez le 3<sup>ème</sup> album vert'. Nous avons supposé qu'en raison du regroupement des titres et des couleurs d'album, les tâches étaient comparables en termes de difficulté. Les différentes tâches étaient randomisées entre les conditions expérimentales. Pendant le défilement dans la liste, l'expérimentateur activait la bande LED, puis un arrêt d'urgence devait être effectué.

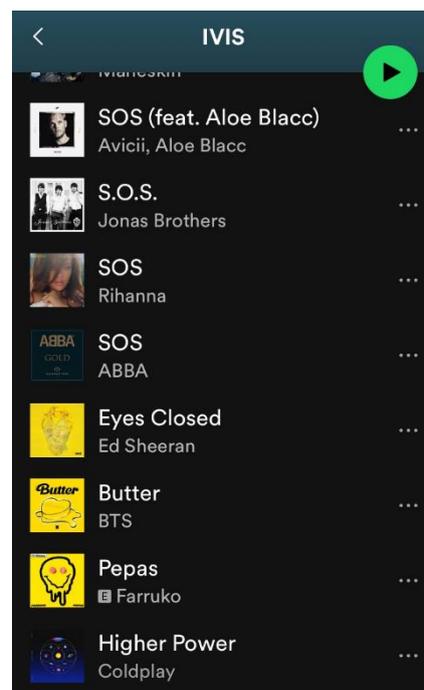


Figure 7 Illustration d'une playlist Spotify

### 4.5 L'équipement de mesure

#### 4.5.1 Le véhicule

Le véhicule était une Ford Kuga Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Il était équipé d'une boîte d'enregistrement d'événements, permettant de lire et de stocker localement les données du bus CAN. Les données étaient lues et fournies par des experts du Lommel Proving Ground. Un enregistreur d'événements est un appareil qui lit et enregistre en temps réel et à haute fréquence les signaux via le bus CAN de l'ordinateur de bord du véhicule. Cela permet d'accéder à de nombreuses variables du véhicule.

#### 4.5.2 La personne

Pour la réalisation et le traitement des données suivantes, nous avons collaboré avec des experts du Human Interface Technology Lab (HITLab) de la Haute École Howest. Ils assurent le soutien technique (fourniture d'équipement, mesure des participants, contrôle des données en temps réel, stockage des données et traitement initial).

#### 4.5.2.1 Système de suivi oculaire

Le comportement visuel a été observé à l'aide des Tobii Pro glasses 3. Ce système Tobii permet d'enregistrer le comportement visuel des participants avec un haut degré de détail (en temps réel) sans perturber le schéma de regard naturel. Le système est composé d'un eyetracker (lunettes et unité principale) et d'une unité d'enregistrement (Figure 8). L'eyetracker est connecté à l'unité principale via un câble HDMI. Les données sont transmises par connexion sans fil, permettant de vérifier immédiatement la robustesse et la fiabilité des signaux. Cela a été fait par l'expérimentateur à l'arrière du véhicule. Ce système Tobii permet d'enregistrer à haute fréquence (50 Hz ou 100 Hz) à une précision de 0.6°. Outre les fixations et les saccades (mouvements du regard), nous obtenons également une indication des paramètres pupillaires (taille et variabilité). Pour ce faire, le système utilise 16 éléments d'éclairage, quatre caméras oculaires et une caméra environnementale avec un champ de vision de 106°, le tout intégré dans les verres des lunettes. L'utilisation de systèmes de suivi oculaire dans les études de simulateurs de conduite est courante depuis un certain temps pour évaluer les distractions (Papantoniou et al., 2017). De plus en plus, ils font leur apparition dans les recherches menées 'dans le monde réel'.



Figure 8 Le système Tobii Pro 3

#### 4.5.2.2 Fréquence cardiaque et variabilité

Dans ce qui suit, nous allons décrire plusieurs mesures physiologiques, en commençant par celles liées au cœur. L'utilité des mesures physiologiques comme indicateurs de charge de travail est fondée sur le fait qu'une activité mentale ou un effort accru entraînent également une réponse physique accrue du corps. En cartographiant en continu la réponse physique du corps, nous pouvons ainsi obtenir une vue d'ensemble de l'effort corporel, y compris l'effort mental (Papantoniou et al., 2017).

La fréquence cardiaque et la variabilité ont été mesurées avec le système Biopac. Ces variables sont calculées sur la base des mesures ECG (électrocardiogramme) enregistrées par trois électrodes collées sur la peau du thorax des participants (en bas du sternum et au niveau des clavicules). En outre, ces paramètres ont également été enregistrés à l'aide de la montre connectée E4 d'Empatica. Cette montre calcule les variables sur la base du volume pulsé sanguin (BVP) au poignet. La fréquence cardiaque et la variabilité sont associées à la concentration et à l'attention, à la charge cognitive ainsi qu'à l'anxiété et au stress (Kim et al., 2018 ; Papantoniou et al., 2017).

#### 4.5.2.3 Conductance cutanée

La conductance cutanée, opérationnalisée comme Activité Électrodermale (EDA) ou Réponse Galvanique de la Peau (Galvanic Skin Response, GSR), est mesurée via le Biopac. Les fluctuations constantes dans certaines propriétés électriques de la peau sont cartographiées à l'aide d'électrodes placées sur la paume des mains des participants (voir Figure 10). La conductance cutanée est considérée comme un indice de charge cognitive et de stress (Dehzangi et al., 2018).



Figure 10 Illustration de la mesure de la respiration



Figure 9 Illustration de la mesure de la conductance cutanée

#### 4.5.2.4 Fréquence respiratoire

La fréquence respiratoire a été mesurée via le Biopac. Le signal est généré par une bande respiratoire (voir Figure 9). La bande mesure les variations du périmètre thoracique ou abdominal qui se produisent lorsque le participant respire. L'activité respiratoire est mentionnée par Papantoniou et ses collègues (2017) comme un des indicateurs de l'effort mental.

#### 4.5.2.5 Traitement de la présentation Teams

Le traitement de l'information provenant de la présentation Teams a été mesuré de deux manières : (1) le nombre de réponses correctes à trois questions vrai-faux et (2) la détection ou non de l'erreur flagrante.

Pour chaque présentation Teams, trois questions vrai-faux ont été posées, identiques quelles que soient les conditions.

Pour la présentation sur la mozzarella, les trois affirmations étaient :

- La mozzarella traditionnelle est fabriquée à partir de lait de vache.
- La mozzarella était traditionnellement consommée le jour suivant sa fabrication.
- La demande de mozzarella a diminué au cours des dix dernières années.

Pour la présentation sur l'océan, les trois affirmations étaient :

- Les océans tropicaux contiennent beaucoup de nourriture en raison de leurs températures clémentes.
- Les récifs coralliens existaient avant les dinosaures.
- Les récifs coralliens de la mer Rouge sont bien adaptés aux changements climatiques actuels.

Pour la présentation sur le Vésuve, les trois affirmations étaient :

- Selon le texte, l'éruption du Vésuve a détruit la ville de Pompéi sans avertissement en une nuit en 79.
- L'approvisionnement en eau de Pompéi est resté miraculeusement intact lors du tremblement de terre.
- Le pont sur le Sarno s'est avéré crucial pour sauver les survivants.

Selon la condition, la présentation était partagée uniquement de manière auditive (dans la condition Car Connect) ou avec à la fois image et son (dans les conditions Phone Connect et Standalone Phone). En cas d'information uniquement auditive, l'erreur se trouvait dans le texte parlé. En cas d'information visuelle et auditive, l'erreur était dans une figure de la présentation PowerPoint. Après avoir posé les trois questions vrai-faux, les participants ont été invités à indiquer s'ils avaient « remarqué quelque chose pendant la présentation ».

### 4.5.3 Caméra supplémentaire

Dans le véhicule, une caméra supplémentaire (GoPro) a été installée derrière le participant, en regardant vers l'avant. Grâce à ces images (en combinaison avec les images enregistrées par le eyetracker), il est possible de situer les événements dans et autour du véhicule tant spatialement que temporellement.

Étant donné que le suivi oculaire, le Biopac et le véhicule produisent des sources de données séparées, il était nécessaire de les synchroniser. Cela a été réalisé de la manière suivante :

1. Au début de l'enregistrement du suivi oculaire, chaque participant a été invité à regarder l'ordinateur portable de l'expérimentateur à l'arrière. À ce moment, un 'événement flag' a été placé dans le logiciel Biopac. Cela nous a permis de synchroniser le timing du eyetracker avec celui du Biopac.
2. Ensuite, le mode du véhicule a été changé de 'Park' à 'Drive'. Cela a été enregistré dans l'enregistreur d'événements et dans le matériel vidéo (caméra et suivi oculaire). Ainsi, les données du véhicule ont également pu être synchronisées.
3. En combinant les coordonnées GPS mesurées par le véhicule et l'analyse des images, les différents segments lors des trajets de test ont également pu être synchronisés.
4. Sur la base du matériel vidéo (caméra et suivi oculaire), nous avons pu déterminer quand (1) le signal d'urgence a été activé et (2) les réunions Teams ont été commencées.

## 5 Analyse des données

### 5.1 Participants

33 participants ont pris part à l'étude (16 femmes, 17 hommes) âgés de 18 à 50 ans (moyenne : 36, écart-type : 9). Les participants possédaient un permis de conduire de catégorie B depuis 2 à 31 ans. Dix participants avaient obtenu un diplôme de master ou de master après le master, 13 participants étaient titulaires d'un baccalauréat académique ou professionnel, et 10 autres avaient terminé l'enseignement secondaire comme niveau d'études le plus élevé.

Huit participants ont rapporté ne pas utiliser la connexion de leur téléphone au véhicule, 15 étaient familiers avec Apple CarPlay, 8 avec Android Auto, 1 participant utilisait le système Tesla, et un dernier participant connectait son téléphone uniquement via Bluetooth pour des appels mains-libres. Dix participants ont déclaré utiliser leur système en permanence, six régulièrement, sept de temps en temps, et deux l'avaient utilisé une fois. La plupart des participants (23) conduisaient en moyenne 10 heures ou moins par semaine.

### 5.2 Prétraitement et contrôle de la qualité

Après un premier contrôle de la qualité, il s'est avéré que, pour des raisons techniques telles que la perte (partielle) de données, les signaux perturbés et quelques ensembles de données corrompus, les données de six participants devaient être supprimées du jeu de données final.

Les analyses rapportées ont donc été effectuées sur un jeu de données de 27 participants, sauf indication contraire. Pour trois participants, une partie des données sur les mouvements oculaires n'a pas été enregistrée. Comme cette perte de données se produisait à chaque fois dans une condition différente et que les autres données (données du véhicule et physiologiques) étaient présentes, ces participants ont été inclus dans le jeu de données final. Pour ces personnes, la valeur 'manquante' a été attribuée aux données sur les mouvements oculaires. Pour un aperçu du nombre de participants dont nous avons pu conserver les données par tâche et par condition, voir Tableau 1. Pour tous ces participants, nous possédons les données du véhicule, les données physiologiques et les données sur les mouvements oculaires. Pour la variable fréquence cardiaque, un participant a été exclu en raison d'une défaillance du matériel de mesure.

Tableau 1 Nombre de participants avec données conservées par tâche et par condition.

	Tâche			
		Réunion Teams	Envoi message	Liste Spotify
Condition	Contrôle	27	27	27
	Car Connect	26	26	26
	Phone Connect	27	26	26
	Standalone Phone	26	25	25

Les temps de réaction aux arrêts d'urgence n'ont pas pu être calculés pour certains participants en raison de problèmes avec une partie des données de suivi oculaire et/ou de la synchronisation de ces données avec les données du véhicule. Voir Tableau 2 pour le nombre de participants pour lesquels nous avons pu calculer le temps de réaction aux arrêts d'urgence par condition et par test de freinage.

Tableau 2 Nombre de participants avec temps de réaction calculé aux arrêts d'urgence par condition.

	Tâche		
		Envoi message	Liste Spotify
Condition	Contrôle	27	26
	Car Connect	26	26
	Phone Connect	26	25
	Standalone Phone	24	24

En raison de limitations de temps et de puissance de calcul, nous avons pu détailler et analyser les données sur les mouvements oculaires pour neuf participants dans ce rapport. Elles sont principalement rapportées de manière descriptive dans la section des résultats.

## 5.3 Description des techniques d'analyse

Pour calculer la fréquence cardiaque à partir du signal ECG, nous avons utilisé le package R `gsignal` (van Boxtel et al., 2022). Pour calculer la fréquence respiratoire, nous avons utilisé le package R `RespirAnalyzer` (Zhang et al., 2021). La visualisation des données et des résultats a été réalisée à l'aide du package `ggplot2` (Wickham, 2016).

Nous avons utilisé une ANOVA à mesures répétées, à l'aide de la commande `'lmer'` du package R `lme4` (Bates et al., 2015). Cela nous a également permis de vérifier la sphéricité des données, ce qui ne s'est pas avéré être le cas. En travaillant avec des mesures répétées, il est possible de contrôler les caractéristiques dépendantes du participant (telles que le style de conduite et les habitudes de vision) sans que cela n'affecte davantage l'analyse d'une variable. Cela permet à tous les participants de passer par les quatre conditions et de les comparer entre elles.

L'analyse a été complétée par des tests d'hypothèses linéaires, permettant de comparer les conditions entre elles. Nous avons utilisé la commande `'linearHypothesis'` du package R `car` (Fox & Weisberg, 2018). Ainsi, nous pouvons non seulement faire des déclarations sur les effets principaux, par exemple de la variable `'condition'`, mais aussi déterminer si une variable dépendante particulière diffère statistiquement entre deux conditions spécifiques. Tous les tests ont été interprétés bilatéralement. Compte tenu du grand nombre de tests prévus, le seuil alpha a été corrigé à .001.

Pour interpréter la combinaison des sources de données, nous avons utilisé des statistiques descriptives basées sur les graphiques combinés de ces sources.

## 5.4 Rapport

L'analyse des données a été réalisée pour trois segments séparés : (1) le suivi de la présentation en ligne, (2) l'envoi d'un message (avec un arrêt d'urgence) et (3) la recherche d'un titre dans une liste de lecture Spotify (également avec un arrêt d'urgence).

Pour ces trois segments, nous avons étudié les variables qui donnent une indication sur le comportement de conduite et la sécurité routière. Pour des raisons d'efficacité, nous avons sélectionné uniquement les segments pertinents pour la réalisation des trois tâches secondaires. Nous comparons systématiquement les valeurs des trois conditions expérimentales entre elles ainsi qu'avec la condition Contrôle. Par exemple, nous examinons la vitesse moyenne et l'écart de vitesse (écart-type) lors de l'exécution d'une tâche distrayante, la fréquence cardiaque moyenne et la respiration de nos participants, les temps de réaction aux signaux d'arrêt d'urgence, la force appliquée sur l'accélérateur, les angles de braquage pour identifier d'éventuels comportements de déviation, et les fixations sur les écrans (et donc non sur la route ou le compteur de vitesse du véhicule). Lors du suivi d'une présentation en ligne, il était également possible de calculer l'écart-type des positions latérales comme indicateur de l'espace utilisé par les participants sur la voie pendant la conduite. Ces paramètres de véhicule sont généralement considérés comme des indicateurs de la qualité de conduite (par exemple Papantoniou et al., 2017 ; Strayer et al., 2011).

Les valeurs que nous rapportons sont soit des valeurs moyennes prédites sur l'ensemble des participants (dans le cadre des tests), soit une représentation de la dispersion de toutes les valeurs observées sur l'ensemble des participants (généralement présentée sous forme de boxplots). Dans certains cas spécifiques, notamment pour les données sur les mouvements oculaires, nous présentons certaines valeurs sur la durée d'un segment pour un seul participant. Cela permet d'effectuer des observations et des interprétations supplémentaires, sans que ces données puissent être discutées avec une signification statistique. Une moyenne de l'ensemble des données sur les mouvements oculaires dépasse le cadre de cette étude. Dans certains cas, cela est également impossible, car les mesures n'ont pas toujours pu commencer aux mêmes moments. Le point de départ était déterminé par l'expérimentateur en temps réel.

Tout d'abord, nous fournissons des explications supplémentaires pour certaines variables plus difficiles à interpréter :

- Temps de réaction (sec) : temps entre l'apparition du signal d'arrêt d'urgence et le moment où le véhicule commence à enregistrer la pression sur la pédale de frein.
- Angle de braquage (°) : le degré auquel le volant est tourné. Les angles de braquage positifs correspondent à un tournant vers la gauche et vice versa. Un volant en position droite résulte en un angle de braquage de 0°.
- Force de freinage (Nm) : pression exercée sur la pédale de frein.
- Pression sur l'accélérateur (%) : le degré auquel l'accélérateur est enfoncé. 0% correspond à aucune pression sur l'accélérateur, 100% correspond à une pression maximale.
- SDLP : écart-type des positions latérales, enregistré par le véhicule. C'est une mesure utilisée pour quantifier la variabilité de la position latérale d'un véhicule sur la route sur une période donnée. Essentiellement, la SDLP donne une indication de l'espace de la route qu'un conducteur utilise généralement. Cette mesure augmente lorsque l'on commence à dévier, mais aussi, par exemple, lorsque le conducteur prend des virages de manière serrée ou trop large.

Les autres variables, telles que les variables physiologiques, sont plus intuitives et seront expliquées plus tard.

## 5.4.1 Suivi d'une présentation en ligne

Les participants ont suivi la présentation en ligne sur la partie 'rapide' de la piste de test (voir Figure 2, couleur brune). Nous avons analysé la vitesse, la fréquence respiratoire, la fréquence cardiaque, la SDLP, les réponses aux questions, l'angle de braquage et le comportement visuel.

### 5.4.1.1 Vitesse

La vitesse moyenne diffère significativement entre toutes les conditions (voir Figure 11). En prenant la vitesse moyenne prédite de la condition Contrôle comme point de référence, nous constatons que les participants dans la condition Phone Connect roulent plus lentement, soit 0.07 km/h. Dans les deux autres conditions, la vitesse est significativement plus élevée. Dans la condition Standalone Phone, elle est 0.17 km/h plus rapide que dans la condition Contrôle. Dans la condition Car Connect, elle est 0.54 km/h plus rapide que dans la condition Contrôle.

La Figure 12 montre l'écart et les valeurs aberrantes des vitesses observées. Les écarts sont généralement comparables entre toutes les conditions. La condition Phone Connect, où la vitesse moyenne prédite est la plus basse, semble présenter une dispersion légèrement plus importante. Les valeurs aberrantes dans la condition Car Connect se démarquent : il y en a davantage avec des vitesses plus élevées.

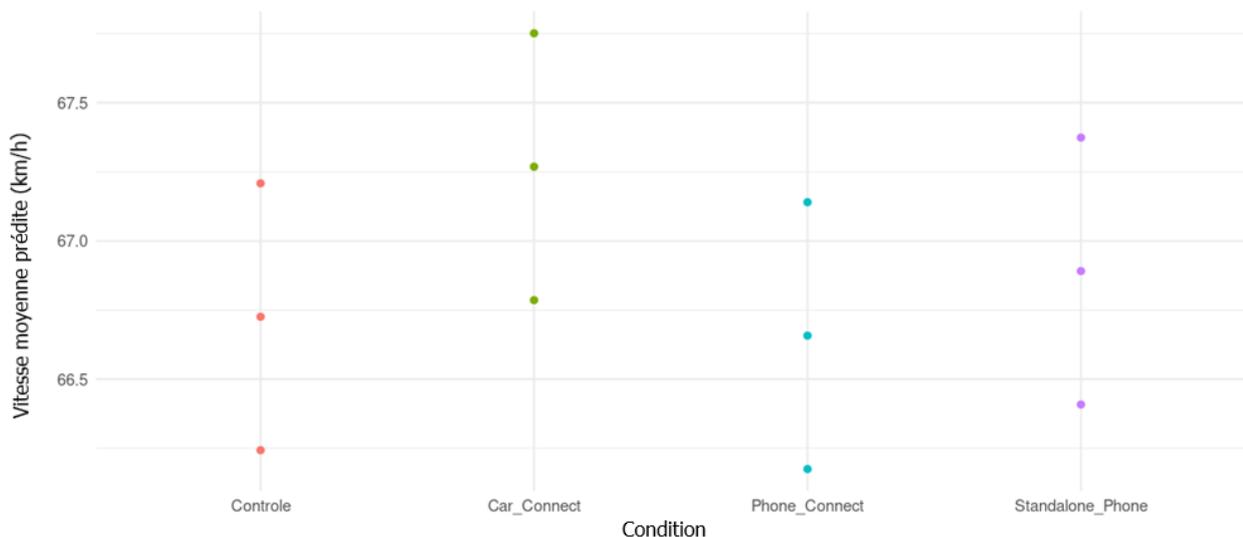


Figure 11 Vitesse moyenne prédite (km/h) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

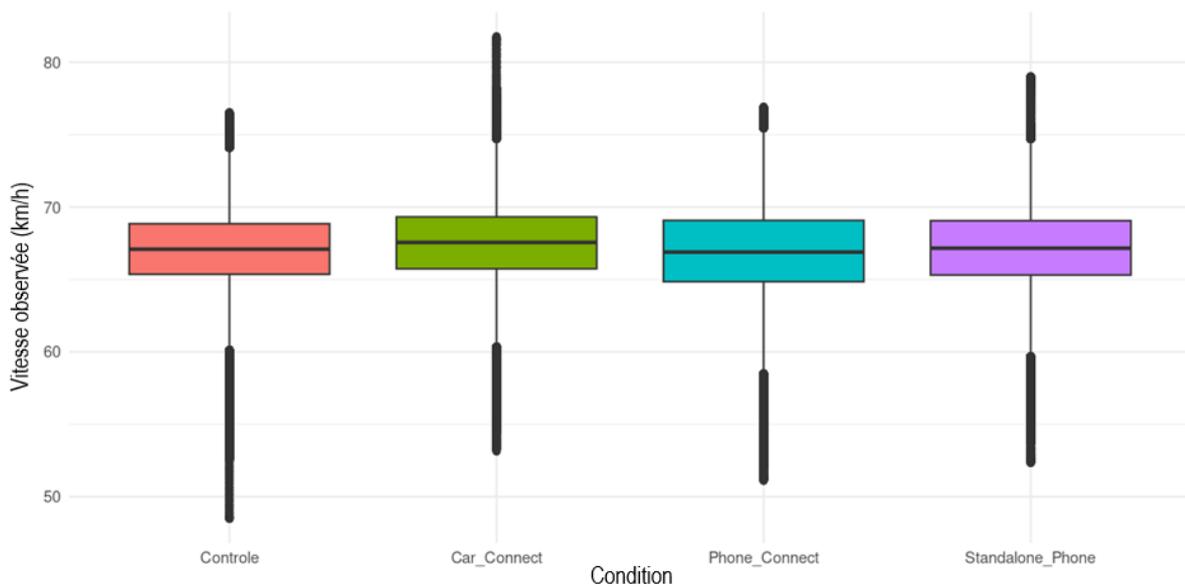


Figure 12 Dispersion des vitesses observées (km/h) par condition.

### 5.4.1.2 Fréquence respiratoire

Pour la fréquence respiratoire aussi, toutes les conditions diffèrent statistiquement de manière significative. En prenant la condition Contrôle comme point de référence, nous constatons, comme pour la vitesse, que la fréquence respiratoire prédite dans la condition Phone Connect est plus basse. La fréquence respiratoire prédite dans les conditions Car Connect et Standalone Phone est plus élevée que dans la condition Contrôle. Dans la condition Standalone Phone, la respiration est la plus rapide (voir Figure 13).

D'après le graphique de la Figure 14, nous concluons que les dispersions des fréquences respiratoires observées entre les différentes conditions sont très similaires. La dispersion dans la condition Car Connect semble légèrement plus importante. La condition Phone Connect a le plus grand nombre de valeurs aberrantes.

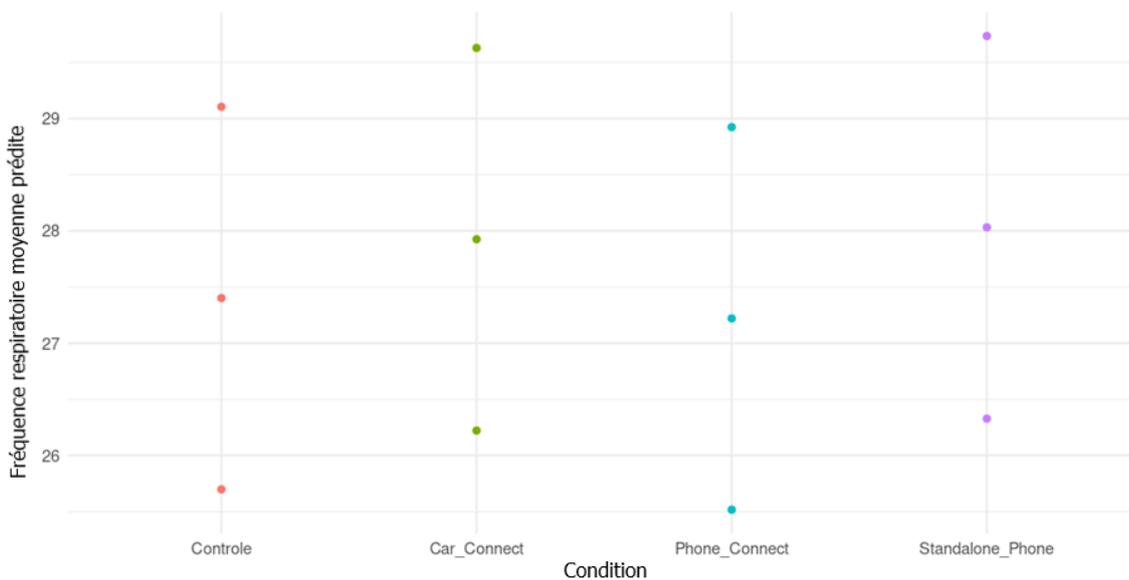


Figure 13 Fréquence respiratoire moyenne prédite (respirations par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

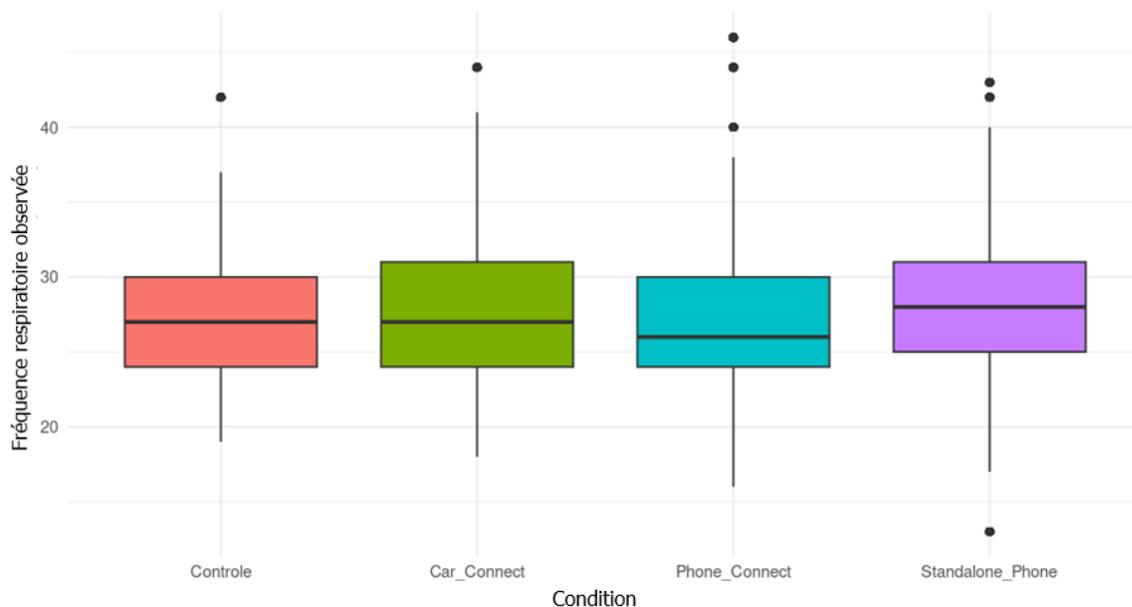


Figure 14 Dispersion de la fréquence respiratoire observée (respirations par minute) par condition.

### 5.4.1.3 Fréquence cardiaque

Pour la fréquence cardiaque aussi, toutes les conditions diffèrent statistiquement de manière significative (Figure 15). En prenant la fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute ; bpm) de la condition Contrôle comme point de référence, nous constatons que le cœur bat plus vite dans toutes les conditions. Dans la condition Car Connect, la fréquence cardiaque moyenne est légèrement (0.83 bpm) plus élevée que dans la condition Contrôle. Dans la condition Phone Connect, la fréquence cardiaque augmente de 1.7 bpm. La fréquence cardiaque moyenne est la plus élevée dans la condition Standalone Phone (2.5 bpm de plus). La dispersion des fréquences cardiaques observées semble plus élevée dans les conditions Phone Connect et Standalone Phone (Figure 16).

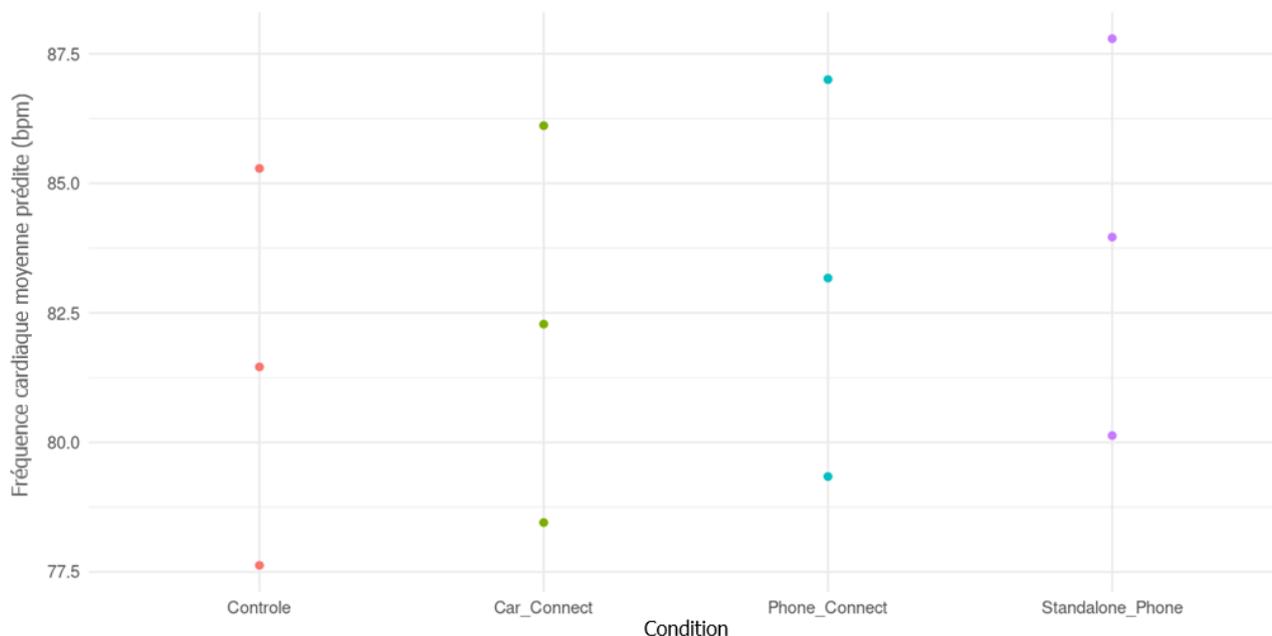


Figure 15 Fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

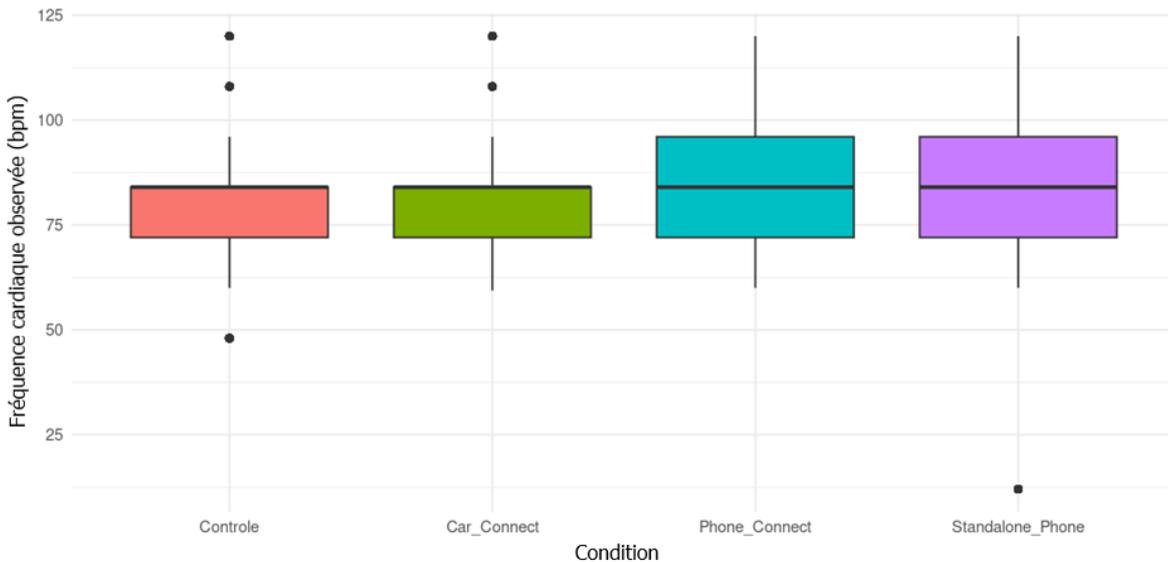


Figure 16 Dispersion de la fréquence cardiaque observée (battements par minute) par condition.

#### 5.4.1.4 SDLP

Lorsque nous prenons comme point de référence la SDLP prédite moyenne pour la condition Contrôle, nous constatons qu'elle semble être plus élevée dans toutes les conditions (voir Figure 17). Les valeurs SDLP pour la condition Car Connect sont plus élevées que pour la condition Contrôle, celles de la condition Standalone Phone sont encore plus élevées, et la condition Phone Connect présente la SDLP prédite moyenne la plus élevée. Cependant, en raison de nos valeurs alpha strictes, les valeurs p de certains tests tombent juste en dehors de la zone de significativité. Seul le test pour la différence entre Phone Connect et la condition Contrôle était statistiquement significatif ( $p = .0004$ ). La SDLP prédite moyenne dans la condition Phone Connect est donc significativement plus élevée que dans la condition Contrôle. Les différences entre Car Connect et Phone Connect ( $p = .004$ ), entre Car Connect et Standalone Phone ( $p = .04$ ) et entre Standalone Phone et la condition Contrôle ( $p = .009$ ) approchent la significativité statistique. Les tests pour les différences entre Phone Connect et Standalone Phone et entre Car Connect et la condition Contrôle ne sont pas statistiquement significatifs (respectivement  $p = .39$  et  $p = .55$ ). Les dispersions des valeurs observées semblent comparables dans toutes les conditions (voir Figure 18).

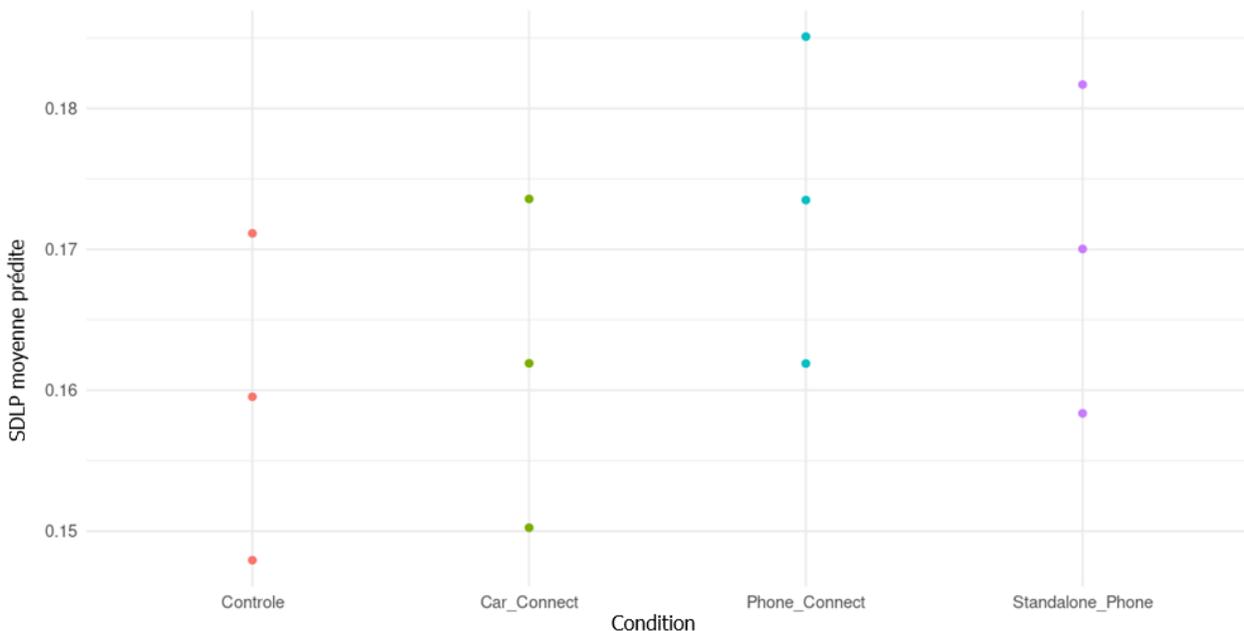


Figure 17 SDLP moyenne prédite par condition avec les limites supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance à 95%.

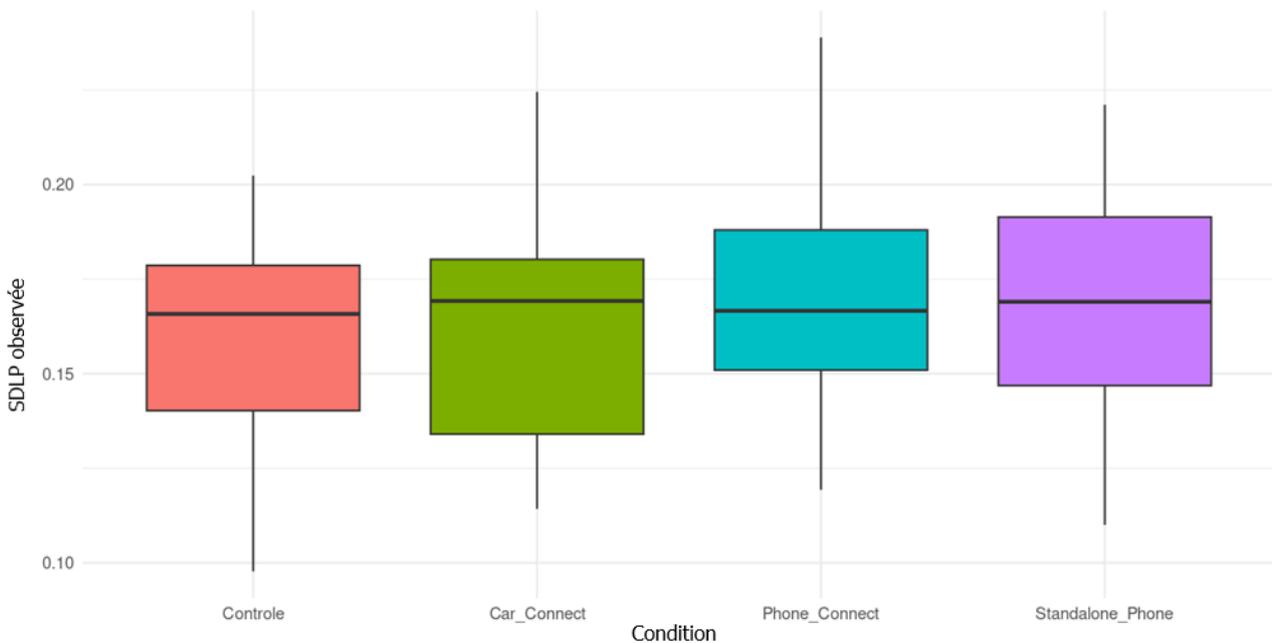


Figure 18 Dispersion de la SDLP observée par condition.

#### 5.4.1.5 Traitement des questions Teams

Après avoir terminé le trajet dans la condition expérimentale, plusieurs questions de contenu ont été posées concernant la présentation Teams. Il apparaît que les participants obtiennent les meilleurs scores dans la condition Car Connect, mais les différences n'étaient pas statistiquement significatives.

Nous observons cependant une différence dans l'analyse des erreurs trouvées. Selon le Tableau 3, l'erreur est généralement trouvée dans une minorité de cas. Il y a une différence nette entre les conditions expérimentales. Dans la condition Car Connect, l'erreur semble mieux détectée que dans les deux autres conditions. La principale différence entre Car Connect et les deux autres conditions expérimentales est que dans la première seule des informations auditives sont fournies, alors que dans les deux autres, des informations visuelles et auditives sont fournies. Dans la condition Car Connect, il s'agissait donc d'erreurs auditives'. Les erreurs dans les deux autres conditions étaient toujours des 'erreurs visuelles'. D'après l'étude pilote, les erreurs visuelles étaient intrinsèquement plus difficiles à trouver. Nous avons donc comparé la condition Car Connect avec les 'erreurs auditives' de l'étude pilote et les deux autres conditions avec les 'erreurs visuelles' de l'étude pilote. Seule la différence entre les conditions Standalone Phone et Phone Connect, avec les erreurs visuelles, était statistiquement significative.

Tableau 3 Nombre d'erreurs trouvées pendant la présentation Teams par condition.

		Erreur trouvée			
		Oui	Non	% Oui	% Oui Contrôles
Condition	Car Connect	11	16	41	61
	Phone Connect	4	23	15	50
	Standalone Phone	6	21	22	
	Phone				

#### 5.4.1.6 Angle de braquage et Vitesse

Les participants ont suivi la présentation en ligne sur la section 'rapide' de la piste de test (voir Figure 2, couleur brune). La vitesse imposée aux participants était de 70 km/h. En plus de la vitesse, déjà discutée, nous avons également analysé l'angle de braquage pendant le trajet. L'angle de braquage est d'une part 'imposé' par le circuit, car celui-ci a une certaine 'courbure'. D'autre part, l'angle de braquage est également déterminé par le comportement de conduite (direction et corrections de direction) du participant. Ces caractéristiques individuelles sont déterminées d'une part par le propre style de conduite et de direction, mais aussi par les manipulations expérimentales (les différentes conditions expérimentales). L'angle de braquage, à un moment donné, est donc une combinaison de caractéristiques individuelles et environnementales.

Lorsque la personne entre dans un certain environnement, cela dépend également de la vitesse à laquelle elle roule. En raison de cette complexité, nous avons choisi de ne pas analyser la relation entre l'angle de braquage et la vitesse au niveau du groupe, mais de la visualiser pour chaque participant. Les interprétations se font donc sur la base de l'analyse visuelle des figures.

La piste de test a été parcourue dans le sens des aiguilles d'une montre : on tourne principalement à droite. Juste après la possible bifurcation vers la section plus lente, la piste s'incline légèrement vers la gauche. Cette section est indiquée sur les graphiques ci-dessous par deux lignes verticales. De plus, il y avait deux segments où la courbe à droite se nivelait, permettant de maintenir le volant brièvement droit. Les participants tournent également à gauche pour quitter la piste. Cette dernière manœuvre n'appartient pas à la section mesurée.

Sur les graphiques ci-dessous, nous voyons l'évolution de la vitesse et de l'angle de braquage pour un des 27 participants dans les quatre conditions, pour le même segment de la piste. La vitesse (en rouge, axe Y gauche) est exprimée en km/h. La ligne pointillée grise indique la vitesse de référence (70 km/h). L'angle de braquage (en gris, axe Y droit) est exprimé en degrés. Une valeur négative indique un angle de braquage vers la droite. La ligne pointillée grise indique 'tout droit' (0°). Lorsque le volant ne bouge pas pendant une période donnée, cela se traduit par une ligne horizontale mince au cours de cette période. Plus la ligne grise est mince, moins il y a de mouvements du volant. Les mouvements de direction importants et/ou fluides (brusques) se manifestent par des sauts verticaux plus importants dans la ligne grise sur une petite période de temps. Le comportement de direction instable et/ou les petites corrections de direction se manifestent par une période de sauts verticaux plus petits successifs dans la ligne grise. Cette ligne grise devient alors 'visuellement plus épaisse'.

Dans la Figure 19, nous voyons l'évolution de la vitesse et de l'angle de braquage dans la condition Contrôle. Il s'agissait (pour chaque participant) du tout premier trajet enregistré (après la phase d'adaptation). Ce trajet a été effectué sans distraction. Nous voyons que la vitesse pour ce participant est toujours inférieure aux 70 km/h demandés, d'une part. D'autre part, nous constatons que la vitesse est relativement constante, sauf à proximité du virage. Juste avant le virage à gauche, la vitesse diminue un peu, tout comme juste après le virage. Les angles de braquage sont généralement vers la droite (négatifs). Ce n'est pas surprenant, compte tenu de la direction de la piste. Dans le virage à gauche, les valeurs s'inversent. Il semble y avoir d'autres régularités. En général, nous voyons que lorsque la vitesse est relativement constante, les angles de braquage le sont également. Il y a quelques variations d'angle de braquage. Il semble que lorsque l'angle de braquage change ou varie d'abord, la vitesse diminue ensuite. Lorsque l'angle de braquage se stabilise à nouveau, la vitesse augmente. Ces relations semblent stratégiquement logiques. Ce sont des schémas attendus. Des corrections de direction plus petites et notables se produisent uniquement juste après le virage à gauche et dans une moindre mesure dans le virage à gauche. Ces tendances générales se retrouvent chez les autres participants. Voir les figures en Annexe 3 – Mouvements oculaires Présentation Teams.

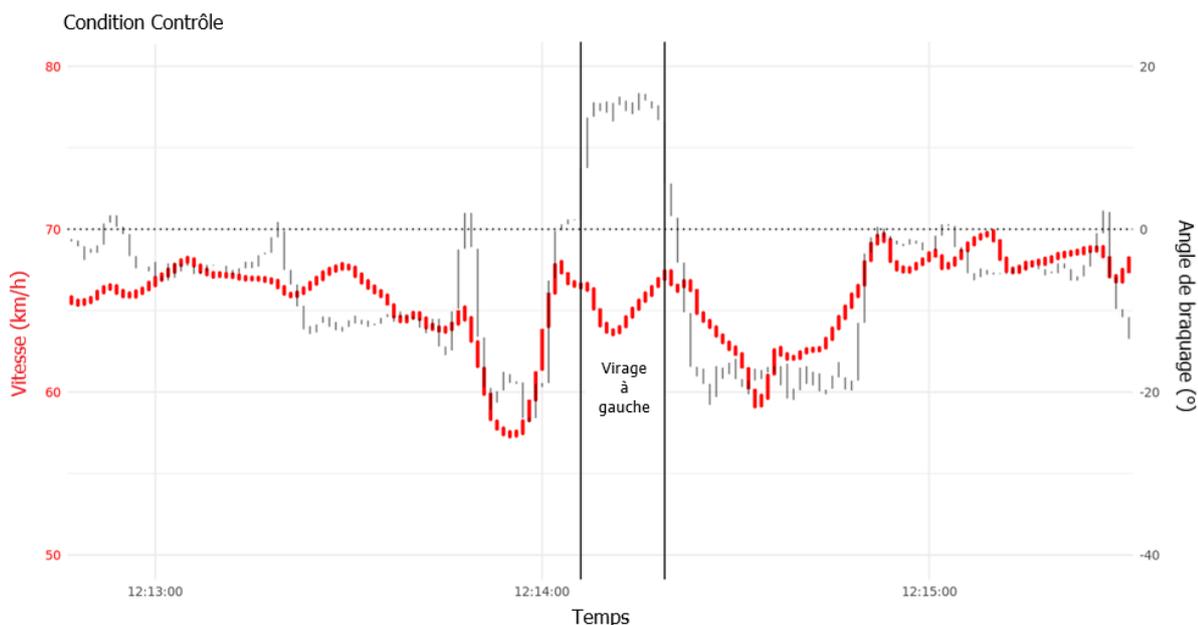


Figure 19 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Contrôle.

Nous essayons de comparer cette tendance générale avec les autres conditions (voir Figures 20, 21 et 22)<sup>11</sup>. Dans toutes les conditions expérimentales, une plus grande variation de la vitesse est notable. Cela est particulièrement marqué pour la condition Phone Connect et pour la condition Standalone Phone. Dans la condition Phone Connect, la vitesse descend même juste au-dessus de 50 km/h. Dans chacune des conditions expérimentales, la vitesse maximale est également dépassée, ce qui n'était jamais le cas dans la condition Contrôle. Cela est à nouveau particulièrement marqué pour la condition Phone Connect et pour la condition Standalone Phone. En ce qui concerne le comportement de direction, nous observons dans les conditions expérimentales un comportement de direction comparable à celui de la condition Contrôle en ce qui concerne les grands mouvements de direction. Ce n'est pas surprenant. En effet, la courbure de la piste n'a pas changé. Cependant, d'une part, il y a plus de périodes de comportement de direction instable. D'autre part, les régularités précédemment établies (relation temporelle entre le changement d'angle de braquage et le changement de vitesse) semblent beaucoup moins applicables dans les conditions expérimentales. Il y a plus de changements de vitesse que ce que l'on pourrait attendre en fonction des mouvements de direction précédents et il y a également plus de mouvements de direction que ce que l'on pourrait attendre en fonction de la vitesse. Il semble encore une fois que cette 'perturbation' du schéma est moins présente dans la condition Car Connect. L'examen des figures respectives des autres participants en annexe confirme ces conclusions (voir Annexe 3 – Mouvements oculaires Présentation Teams).

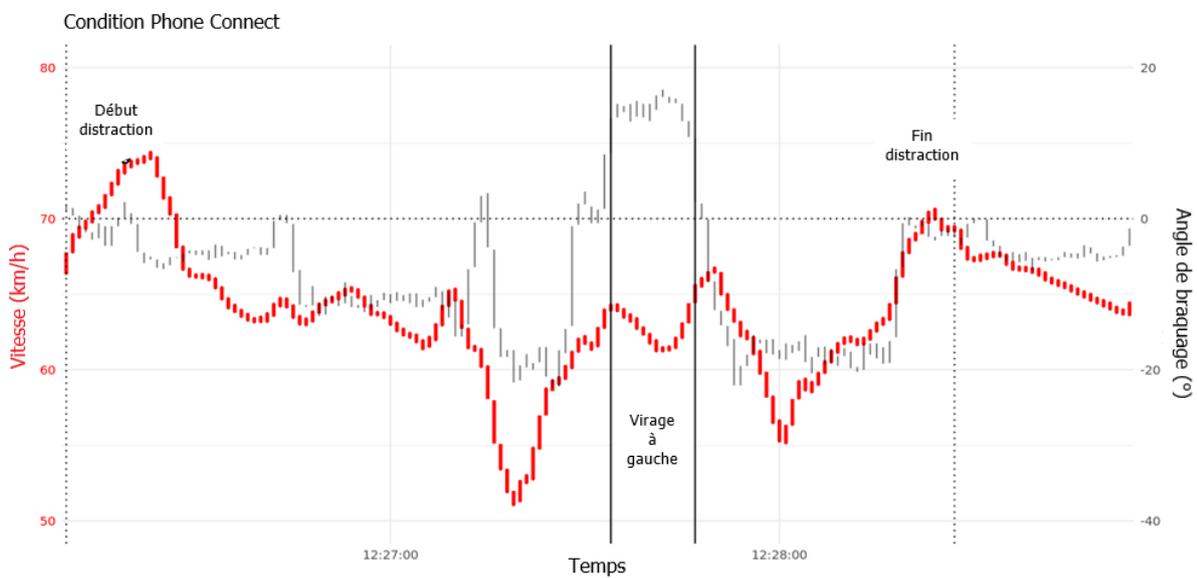


Figure 20 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Phone Connect.

<sup>11</sup> Les axes sont identiques dans tous les graphiques.

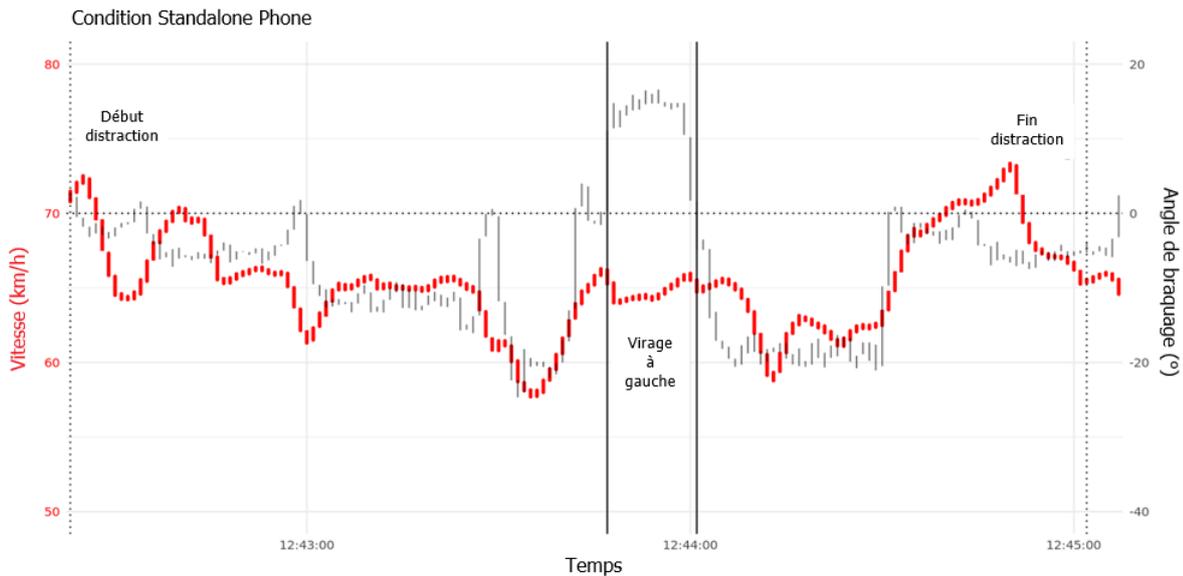


Figure 21 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Standalone Phone.

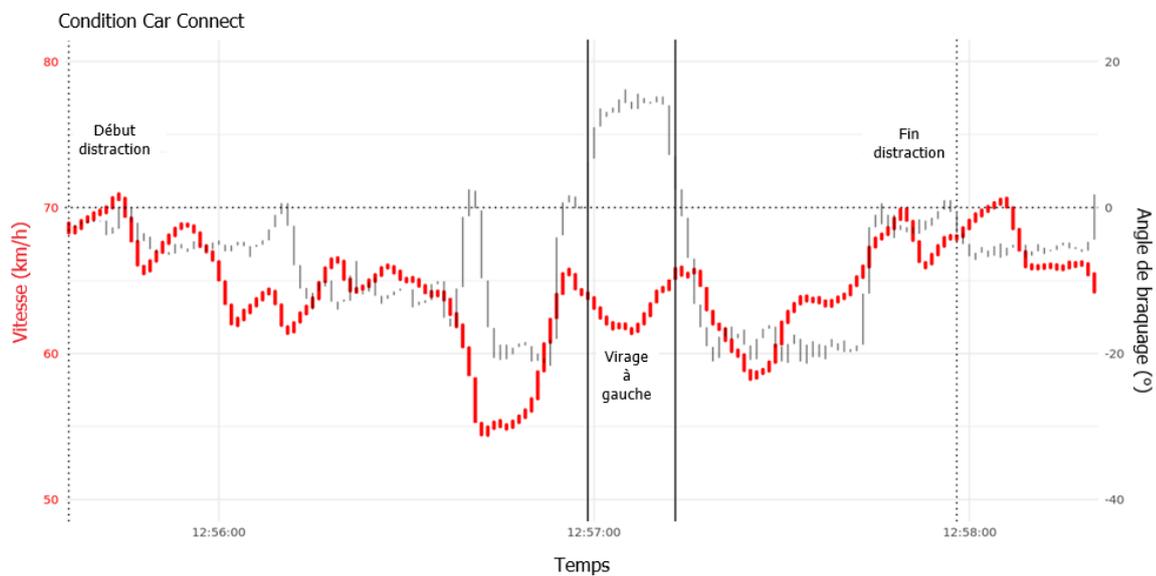


Figure 22 Vitesse (km/h – rouge) et angle de braquage (° – gris) dans la condition Car Connect

### 5.4.1.7 Mouvements oculaires

Compte tenu de la quantité énorme de données, nous avons réussi à traiter complètement les données sur les mouvements oculaires de seulement quelques participants. Pour simplifier la présentation et la discussion, nous allons ici discuter des résultats d'un seul participant. Les résultats des autres participants analysés se trouvent en Annexe 3 – Mouvement oculaires Présentation Teams. Les conclusions basées sur le participant discuté sont compatibles avec celles des autres participants analysés, sauf indication contraire.

Dans les données sur les mouvements oculaires, nous avons isolé le comportement de regard (fixations) pendant le trajet vers le tableau de bord, les rétroviseurs et les écrans. L'écran pertinent varie selon la condition : dans les conditions Phone Connect et Standalone Phone, l'écran utilisé est celui du smartphone. Dans la condition Car Connect, c'est l'écran de la voiture. Cependant, rien n'était visible sur l'écran pendant la présentation PowerPoint. Pour améliorer la comparabilité des résultats entre les conditions, nous avons regroupé toutes les fixations sur les écrans (sur les deux écrans) dans toutes les conditions. Enfin, nous supposons que le reste des fixations est dirigé vers la route et l'environnement.

Les rétroviseurs n'ont pas été contrôlés lors des trajets. Nous les excluons donc des figures.

Nous constatons que dans la condition Contrôle (Figure 23), peu de temps est passé à regarder les écrans (couleur verte), mais un peu plus de temps est passé à regarder le tableau de bord (couleur rouge). Dans les conditions Phone Connect (Figure 24) et Standalone Phone (Figure 25), on regarde beaucoup plus l'écran (smartphone). Cela est logique car la présentation était proposée visuellement et auditivement dans ces conditions. Nous ne trouvons pas de différences marquantes entre ces deux conditions. Dans la condition Car Connect (Figure 26), les fixations sur l'écran sont souvent l'exception. Bien qu'il n'y ait rien à voir sur l'écran dans cette condition, il a été regardé de temps en temps. Dans toutes les conditions, il a été observé qu'il n'y avait presque aucune fixation sur les écrans dans les virages à gauche. Cela est valable pour tous les participants analysés.

Pendant les périodes où le participant regarde répétitivement l'écran (les zones 'vertes' prédominantes dans les figures), des changements de vitesse et un comportement de direction instable se produisent. Il semble également que plus l'écran est regardé longtemps (plus la 'période verte' dure), plus les changements de vitesse et d'angle de braquage sont importants.

Pour ce qui est des fixations sur le tableau de bord, les données sont beaucoup moins claires. Elles sont également moins nombreuses. Il semble que pour la plupart des participants, le tableau de bord a été le plus regardé dans les conditions Contrôle et Car Connect.

Ce qui précède s'applique à la plupart des participants analysés. Cependant, il existe également des exceptions (voir l'annexe). Certains participants passent proportionnellement beaucoup moins de temps à regarder les écrans que d'autres.

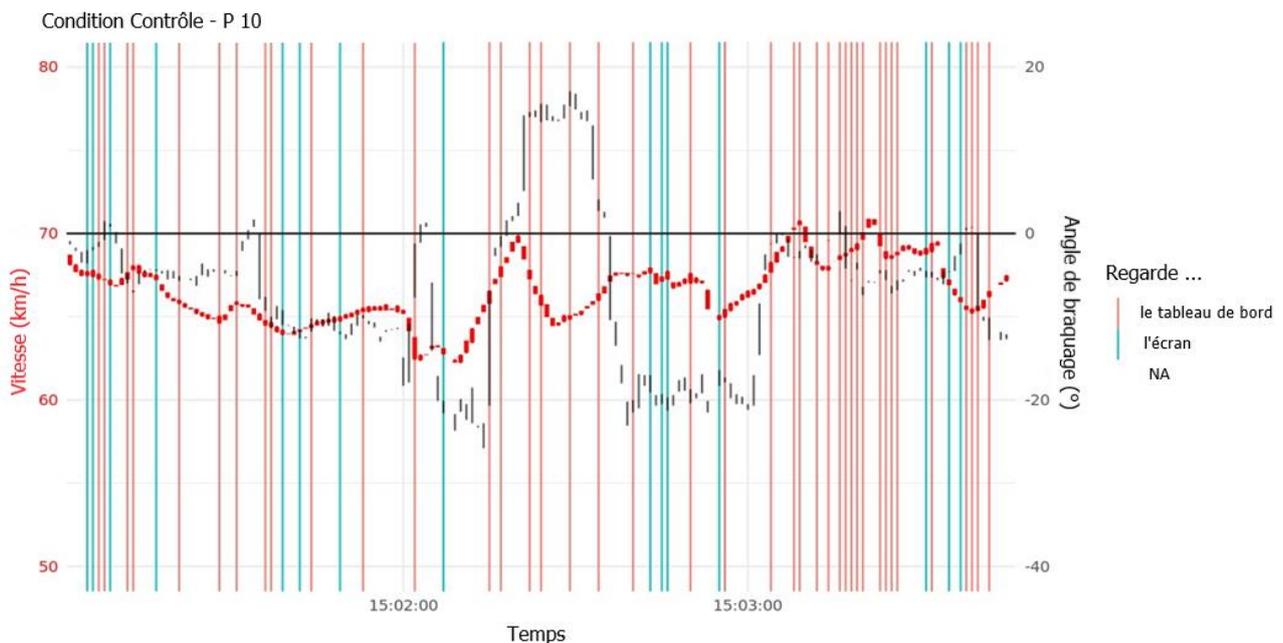


Figure 23 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Contrôle.

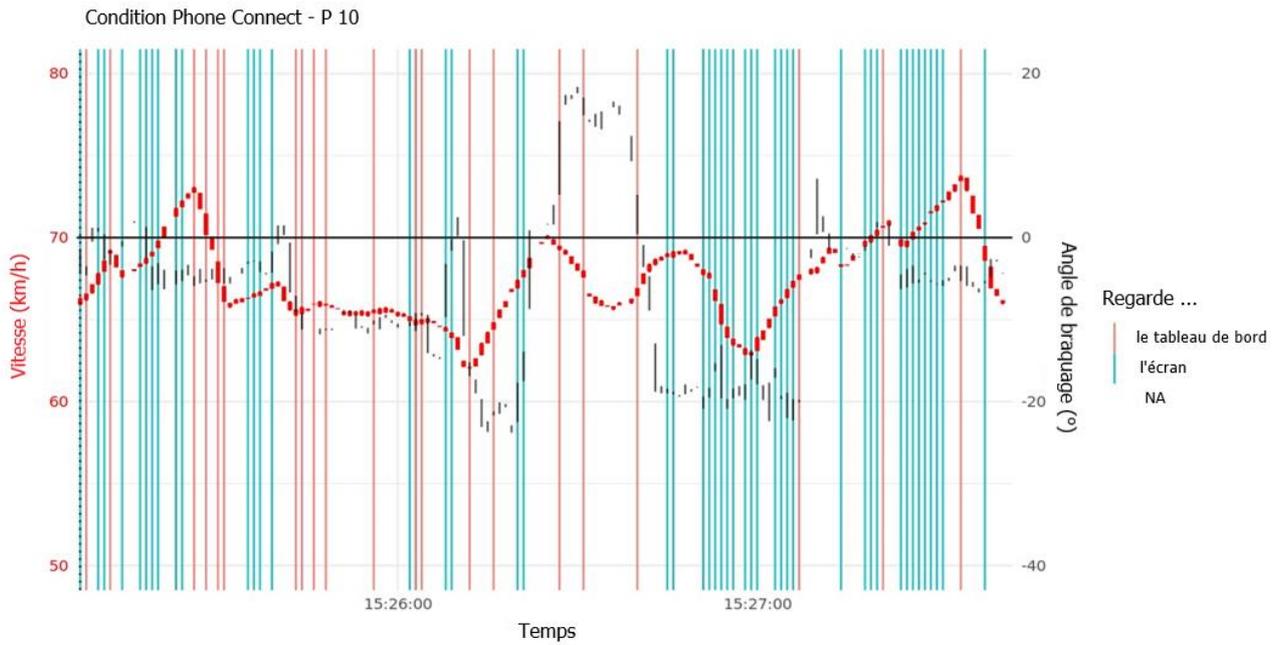


Figure 24 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Phone Connect.

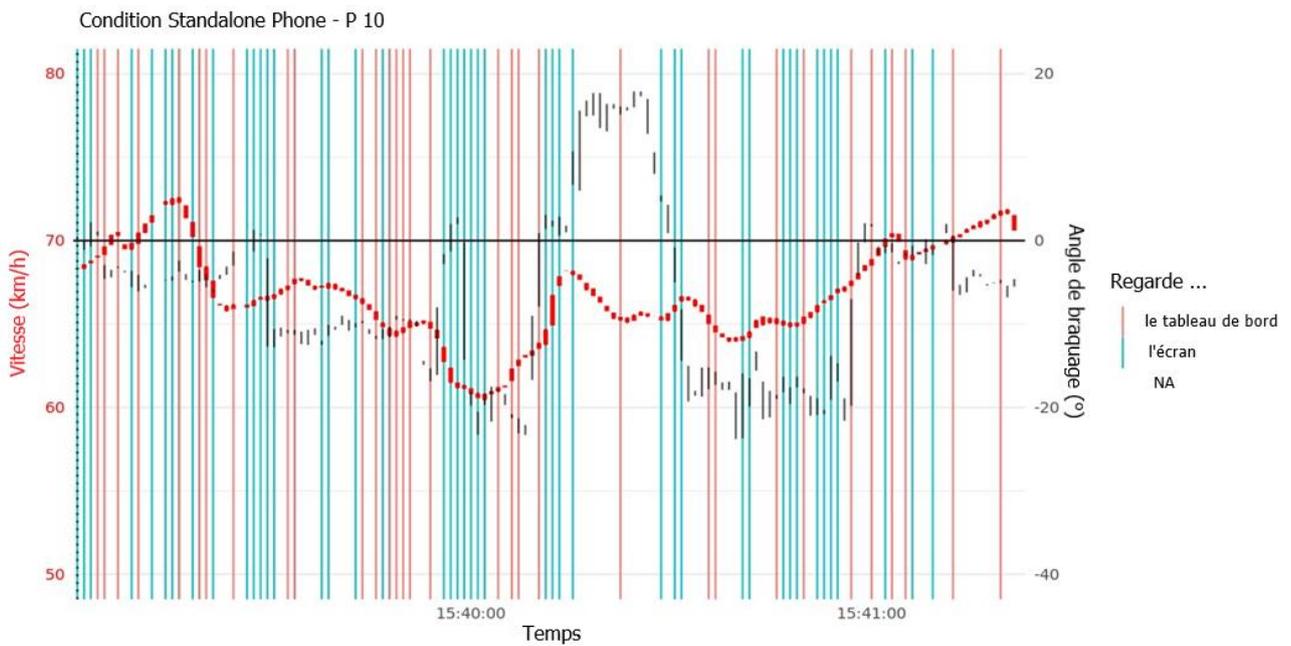


Figure 25 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Standalone Phone.

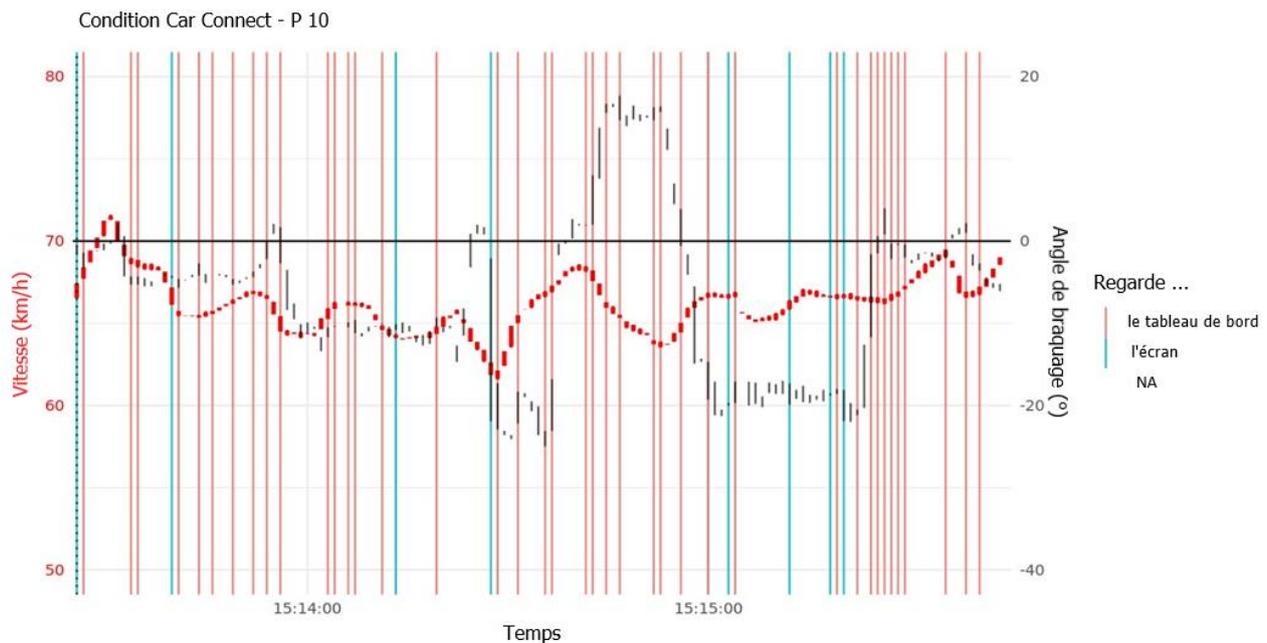


Figure 26 Vitesse observée (km/h – ligne pointillée rouge), angle de braquage (° – gris) et fixations dans la condition Car Connect.

#### 5.4.1.8 Conclusion intermédiaire – Suivi d'une présentation Teams

À partir des analyses et observations ci-dessus, nous constatons qu'en suivant la présentation Teams sur la partie rapide du circuit, la vitesse dans les trois conditions expérimentales diffère de celle de la condition Contrôle. Lors du suivi de la présentation Teams, on roule plus vite ou avec plus de variabilité dans les conditions expérimentales. La vitesse est la plus élevée dans la condition Car Connect. C'est la condition où aucune information visuelle supplémentaire n'était fournie. Dans la condition Phone Connect, la vitesse était plus lente. Cependant, il semble y avoir une plus grande variabilité. Ainsi, nous observons dans toutes les conditions expérimentales un impact sur la vitesse : soit une augmentation de la vitesse moyenne, soit une plus grande variabilité de la vitesse. Ces deux cas sont généralement considérés comme indicatifs d'une conduite moins sûre.

La conclusion basée sur les mesures physiologiques (fréquence respiratoire et fréquence cardiaque) va dans le même sens. Le schéma basé sur la fréquence respiratoire est très similaire à celui de la vitesse. Dans la condition Phone Connect, on respire plus lentement que dans la condition Contrôle. Nous y voyons quelques valeurs aberrantes. Dans les deux autres conditions expérimentales, on respire plus rapidement. Cependant, dans toutes les conditions expérimentales, la fréquence cardiaque est plus élevée que dans la condition Contrôle. Une augmentation de la fréquence respiratoire et de la fréquence cardiaque est généralement interprétée comme le résultat d'un effort accru ou de stress. Dans la condition Standalone Phone, ces mesures sont les plus élevées.

L'interprétation basée sur la SDLP est plus complexe. Nous ne voyons pas de différence claire entre les conditions expérimentales et la condition Contrôle. La condition Car Connect, où la conduite était la plus rapide, ne montre pas de différence par rapport à la condition Contrôle en ce qui concerne cette mesure de variabilité de la position latérale. En revanche, les deux autres conditions (Standalone Phone et Phone Connect), où la conduite était également plus rapide, présentent une différence. Un comportement plus erratique, combiné à des vitesses plus élevées, augmente le niveau d'insécurité.

Trouver les erreurs pendant la présentation PowerPoint est plus facile dans la condition Car Connect par rapport aux conditions Standalone Phone et Phone Connect. Dans ces deux dernières conditions expérimentales, les erreurs étaient 'visibles', tandis qu'en condition Car Connect, elles étaient 'audibles'. L'étude pilote a montré que les erreurs visuelles étaient déjà plus difficiles à repérer. Sur la base de ces

analyses, nous avons conclu qu'il y a des indications que la détection des erreurs dans toutes les conditions expérimentales est inférieure à celle des participants dans la condition Contrôle. Cependant, seule la différence entre les conditions Standalone Phone et Phone Connect, avec les erreurs visuelles donc, s'est avérée statistiquement significative. L'information visuelle des présentations PowerPoint est donc moins bien perçue.

Sur la base de ce qui précède, nous pouvons provisoirement affirmer que dans les conditions expérimentales, la plupart des mesures indiquant des conséquences dangereuses ou indésirables augmentent généralement. D'après la combinaison des variables dépendantes mesurées, cela semble être le moins le cas dans la condition Car Connect.

Une conclusion tout aussi complexe mais similaire peut être tirée de l'analyse de la combinaison d'angle de braquage et de vitesse. Nous observons des vitesses et des angles de braquage relativement constants dans la condition Contrôle. Le comportement de conduite semble être guidé par des régularités probables et stratégiquement déterminées, telles que les variations de vitesse en fonction du comportement de direction. Tout cela change cependant dans les conditions expérimentales. Nous y voyons des variations plus importantes de la vitesse et plus de dépassements de la vitesse maximale. Cela est particulièrement marqué pour les conditions Phone Connect et Standalone Phone. Nous observons également plus de périodes de comportement de direction instable dans les conditions expérimentales. Les régularités établies précédemment (relation temporelle entre le changement d'angle de braquage et le changement de vitesse) sont beaucoup moins discernables dans les conditions expérimentales. Il semble à nouveau que cette 'perturbation' du schéma est moins présente dans la condition Car Connect.

Les données sur les mouvements oculaires montrent que les écrans dans les conditions où des informations visuelles étaient également fournies ont été parfois regardés de manière très attentive. En revanche, dans la condition Car Connect (sans informations visuelles), cela était considérablement moins fréquent. Pendant les périodes où le participant regarde répétitivement l'écran, les changements de vitesse et le comportement de direction instable se produisent. Il semble également que plus le temps passé à regarder l'écran est long, plus les changements de vitesse et d'angle de braquage sont importants. La qualité de conduite diminue donc avec une augmentation du temps passé à regarder les écrans. La condition Car Connect semble à nouveau être la moins perturbée.

Les fixations du regard sur le tableau de bord ne sont pas très nombreuses. Il semble que pour la plupart des participants, le tableau de bord a été le plus regardé dans les conditions Contrôle et Car Connect. Regarder le tableau de bord, où la vitesse peut également être lue, joue un rôle important dans la régulation de la vitesse. Lorsqu'une partie substantielle du temps de fixation est consacrée aux écrans, il reste proportionnellement moins de temps pour regarder le tableau de bord ; la route devant le véhicule nécessitant un nombre minimum de fixations.

Certaines nuances sont importantes. Tout d'abord, les écrans n'ont pas été regardés de la même manière par tous les participants. Il existe des différences interpersonnelles claires. Certains participants montrent donc un certain degré d'auto-régulation. Deuxièmement, les écrans n'ont généralement pas été consultés lors de la prise de virages. Il semble que les participants n'aient pas regardé l'écran dans des situations 'difficiles', mais qu'ils l'aient fait lorsque la situation de conduite était apparemment plus facile. Enfin, nous observons que, bien qu'il n'y ait rien à voir sur les écrans dans les conditions Contrôle et Car Connect, les participants ont tout de même regardé les écrans. Cela peut avoir plusieurs raisons. Cela pourrait indiquer une forme de 'dépendance à l'écran'. La dépendance à l'écran, la dépendance numérique, le temps d'écran inconscient ou le temps d'écran passif sont des termes qui décrivent un comportement où une personne fixe un écran sans beaucoup réfléchir ou de manière consciente (OpenAI, 2024). Il pourrait aussi s'agir de fixations 'errantes'. C'est plausible, surtout pour l'écran du smartphone, étant donné qu'il se trouvait dans la direction de la vue vers l'avant (sur la route).

## 5.4.2 Utilisation de WhatsApp

La deuxième tâche consistait à utiliser l'application de messagerie WhatsApp. Nous ne sommes pas intéressés par le succès de l'exécution de la tâche, mais par l'impact de son exécution sur les paramètres de sécurité routière. Comme mentionné, l'application a d'abord été ouverte par le participant sur la deuxième partie, plus lente, du circuit. Plus tard, au cours de cette partie du circuit, il a été demandé d'envoyer un message à un destinataire spécifique. Cela s'est produit chaque fois au même endroit sur le circuit. Dans la condition Car Connect, en raison d'une limitation technique (standard), aucun clavier virtuel n'était disponible, et il a donc fallu utiliser le contrôle vocal. Pendant la rédaction du message, l'expérimentateur a activé la bande LED, après quoi un arrêt d'urgence devait être effectué. L'endroit et le moment diffèrent donc (légèrement) d'un participant à l'autre. L'expérimentateur attendait en effet de presser le bouton jusqu'à ce que le participant soit effectivement en train de rédiger le message.

### 5.4.2.1 Temps de réaction à la bande LED

Le temps de réaction à la bande LED est un indicateur de la vitesse à laquelle un arrêt d'urgence est effectué. Seule la différence de temps de réaction entre la condition Car Connect et la condition Contrôle atteint le niveau de signification fixé ( $p = .0048$ ).

Une analyse plus approfondie révèle que les temps de réaction moyens estimés (Figure 27) dans la condition Standalone Phone sont .006 secondes (ns) plus rapides et dans la condition Phone Connect sont .045 secondes plus lents (ns) que dans la condition Contrôle. Dans la condition Car Connect, nous trouvons un temps de réaction moyen prédit qui est .19 secondes plus lent que dans la condition Contrôle. À une vitesse moyenne de 70 km/h, cela correspondrait à presque 3,7 mètres supplémentaires qu'un conducteur parcourrait avant d'appuyer sur la pédale de frein. La différence notable de la condition Car Connect par rapport aux autres conditions expérimentales peut être expliquée. En effet, en raison des limitations intégrées du système, le participant ne pouvait pas rédiger le message avec un clavier virtuel et devait donc utiliser la commande vocale. Bien que cela semble plus simple, un dysfonctionnement technique dans le véhicule a rendu cette commande moins efficace. Les participants ont donc dû faire face à un défi supplémentaire. Dans la condition Car Connect, ils devaient gérer un IVIS capricieux, ce qui rend la comparaison avec les autres conditions expérimentales moins pertinente.

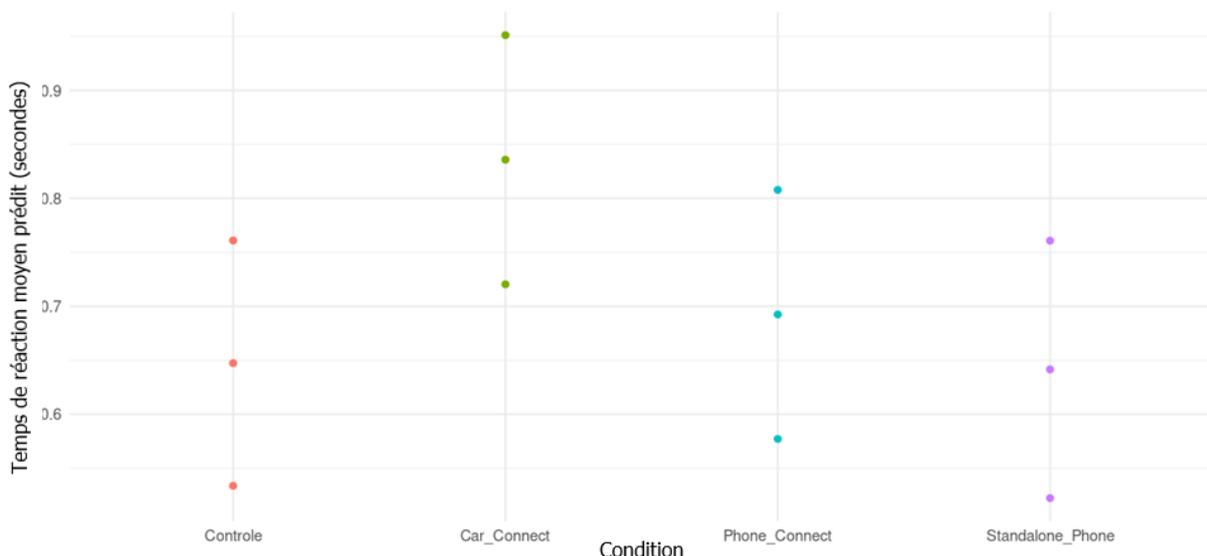


Figure 27 Temps de réaction moyen prédit au signal d'arrêt d'urgence (secondes) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

### 5.4.2.2 Vitesse

Nous avons analysé la vitesse à partir de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'à ce que les participants commencent à freiner. Les participants dans la condition Phone Connect ont eu la vitesse la plus basse et seule cette condition différait significativement de toutes les autres conditions. Le fait que la vitesse dans toutes les conditions expérimentales soit inférieure à celle de la condition Contrôle n'était donc qu'une tendance : les conditions Standalone Phone et Car Connect ne différaient en effet pas significativement de la

condition Contrôle. Une analyse plus approfondie montre que la vitesse moyenne prédite dans la condition Phone Connect est 1 km/h plus basse que dans les autres conditions (Figure 28).

Non seulement la vitesse, mais aussi sa variation est un indicateur de sécurité routière. La Figure 29 montre que l'écart-type de la vitesse observée dans ce segment est plus élevé dans les conditions expérimentales que dans la condition Contrôle. Cependant, ce résultat est également seulement indicatif, car seule la différence entre la condition Standalone Phone et la condition Contrôle était statistiquement significative ( $p = .0006$ ). Les différences entre Car Connect et la condition Contrôle, ainsi qu'entre Phone Connect et la condition Contrôle, étaient seulement marginalement significatives (respectivement  $p = .008$  et  $p = .007$ ).

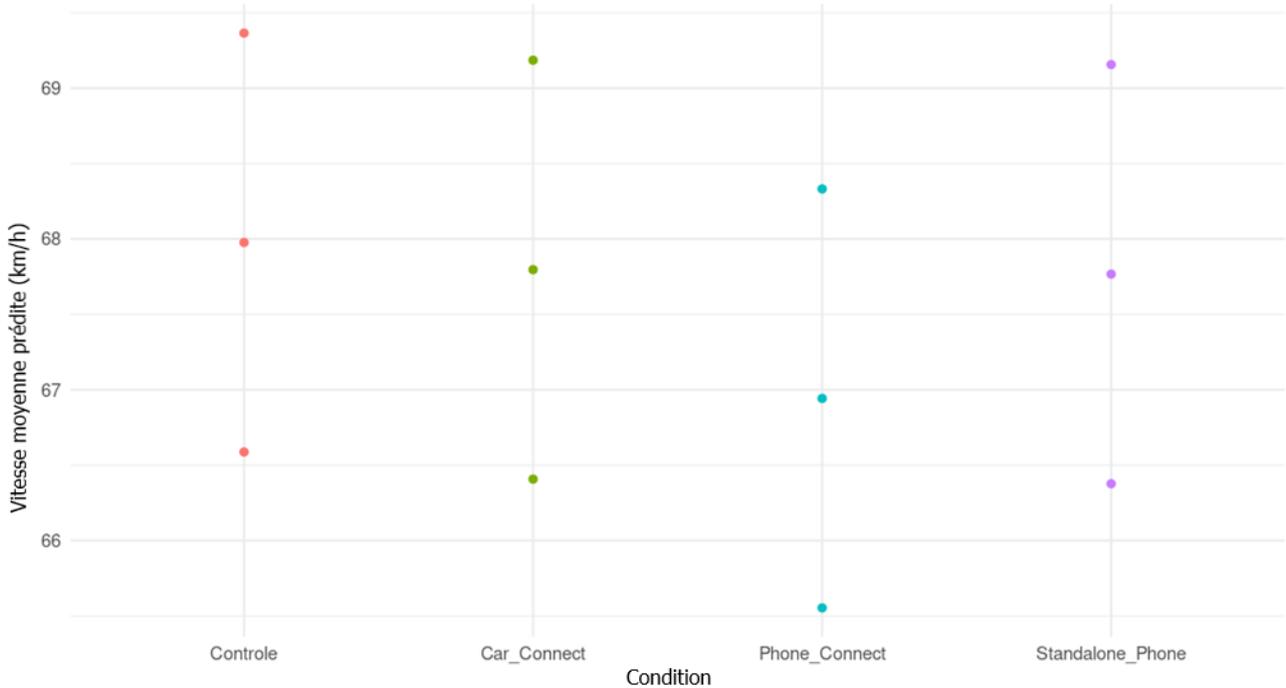


Figure 28 Vitesse moyenne prédite (km/h) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

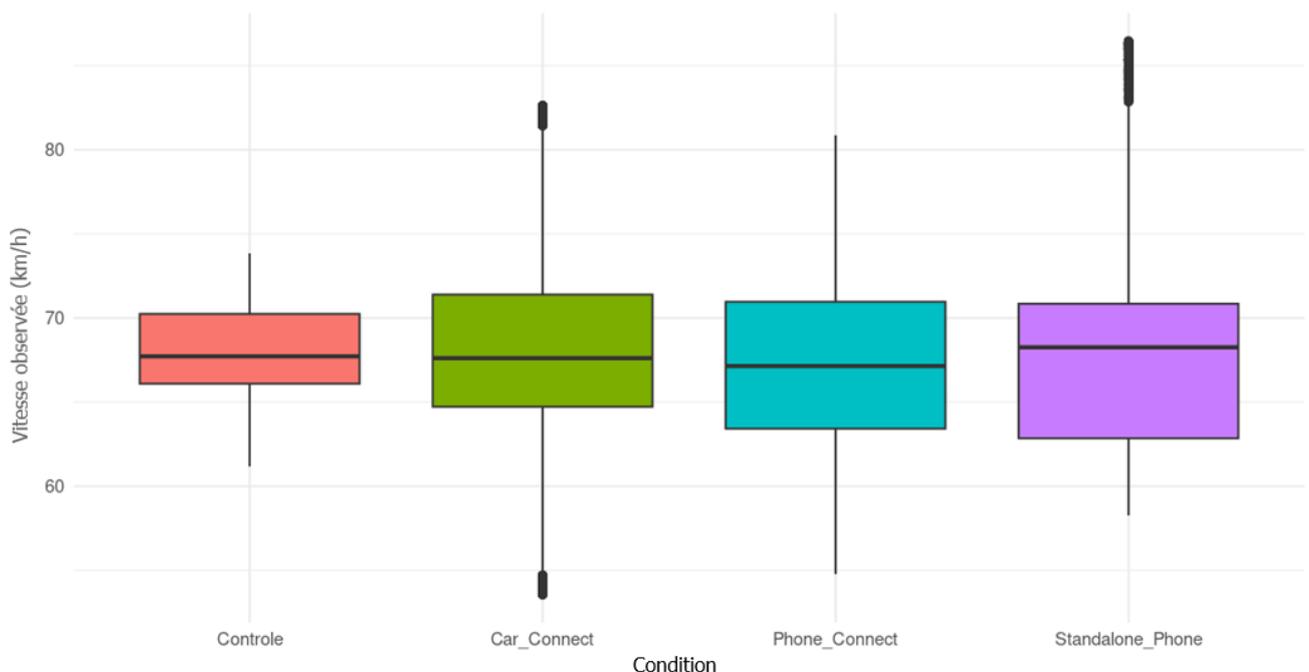


Figure 29 Dispersion des vitesses observées (km/h) par condition.

Nous avons également examiné la vitesse (ou le changement de vitesse) en fonction du temps pour un certain nombre de participants. Dans la plupart des cas, nous observons un schéma différent dans les conditions expérimentales par rapport à la condition Contrôle. Par exemple, nous voyons dans la Figure 30 que la vitesse diminue progressivement après l'allumage de la bande LED. Dans cette figure, le point 0 sur l'axe X correspond à l'allumage du signal d'arrêt d'urgence. Une différence claire est visible avec toutes les conditions expérimentales : le schéma progressif est interrompu au moins deux fois. C'est un schéma de ralentissement clairement différent. Le schéma dans la condition Car Connect semble être le moins différent de celui de la condition Contrôle.

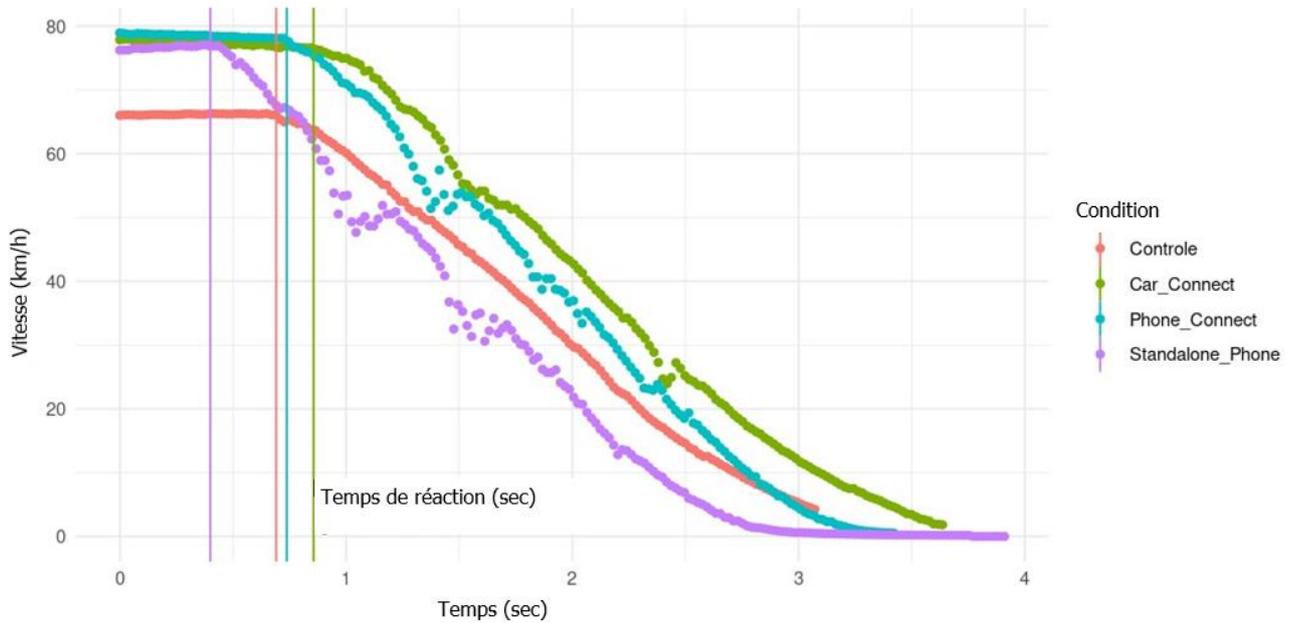


Figure 30 Vitesse observée (km/h - lignes en pointillés) et temps de réaction (secondes - lignes verticales pleines) par condition pour un participant.

### 5.4.2.3 Fréquence cardiaque

Nous avons également analysé la fréquence cardiaque à partir de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'à ce que les participants commencent à freiner. Dans toutes les conditions expérimentales, la fréquence cardiaque moyenne prédite est significativement plus élevée que dans la condition Contrôle (Figure 31). La fréquence cardiaque moyenne prédite la plus élevée est observée dans la condition Phone Connect, 5.59 battements par minute plus élevée que dans la condition Contrôle. Dans la condition Standalone Phone, la fréquence cardiaque moyenne prédite était 3.57 battements par minute plus élevée que dans la condition Contrôle. La condition Car Connect diffère le moins de la condition Contrôle. La fréquence cardiaque moyenne prédite y était 1.93 battements par minute plus élevée. Nous n'avons pas pu tirer de conclusions à partir de la variabilité des fréquences cardiaques observées. Elles ne sont donc pas rapportées.

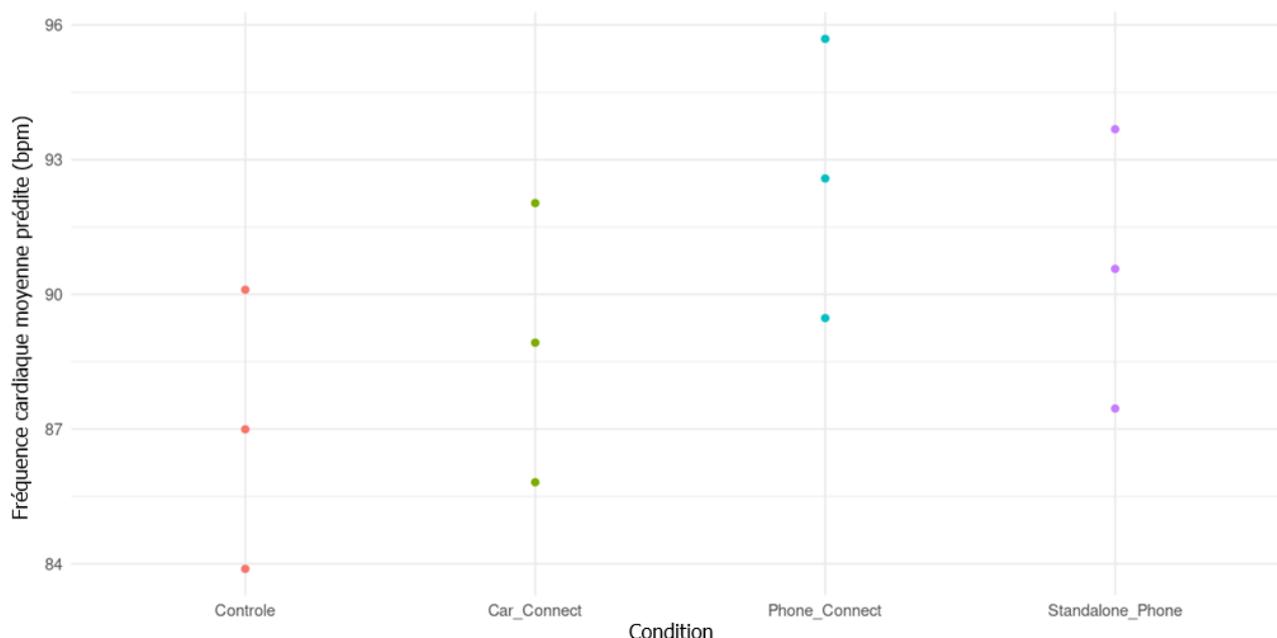


Figure 31 Fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

#### 5.4.2.4 Angle de braquage

Les analyses des angles de braquage à partir de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'à ce que les participants commencent à freiner montrent que les différences entre toutes les conditions sont statistiquement significatives. Rappelons que, dans nos calculs, les angles de braquage positifs (exprimés en degrés) correspondent aux positions du volant vers la gauche ( $0^\circ$  étant la position droite du volant). La Figure 32 montre d'une part que les angles de braquage sont généralement orientés vers la gauche (angles de braquage positifs) dans toutes les conditions, mais d'autre part que les participants dans toutes les conditions expérimentales ont plus de positions du volant vers la gauche que dans la condition Contrôle. Le plus extrême est le cas de la condition Standalone Phone, suivi de la condition Phone Connect. Les angles de braquage dans la condition Car Connect diffèrent le moins de ceux de la condition Contrôle. Lorsque nous examinons les dispersions des angles de braquage observés dans la Figure 33, nous voyons qu'elles sont les plus homogènes dans la condition Contrôle. Dans les conditions expérimentales, les valeurs sont plus dispersées (réparties sur le spectre gauche), avec une dispersion plus importante vers la droite (ou en d'autres termes : moins vers la gauche).

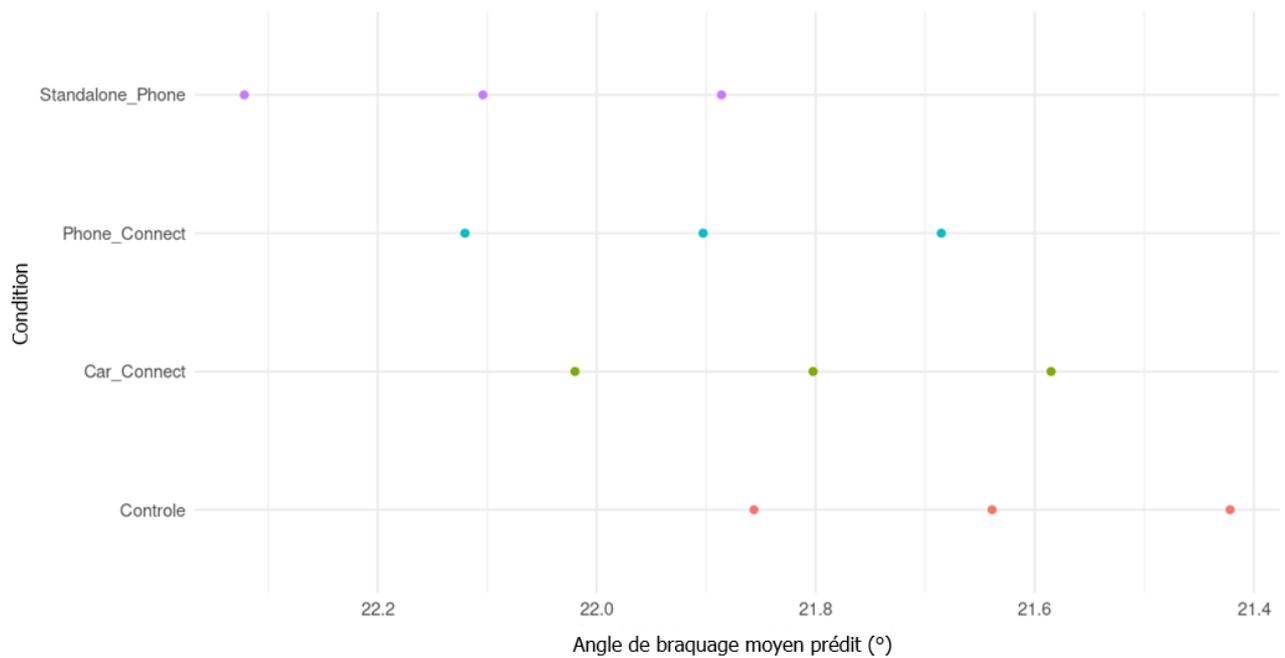


Figure 32 Angle de braquage moyen prédit (°) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

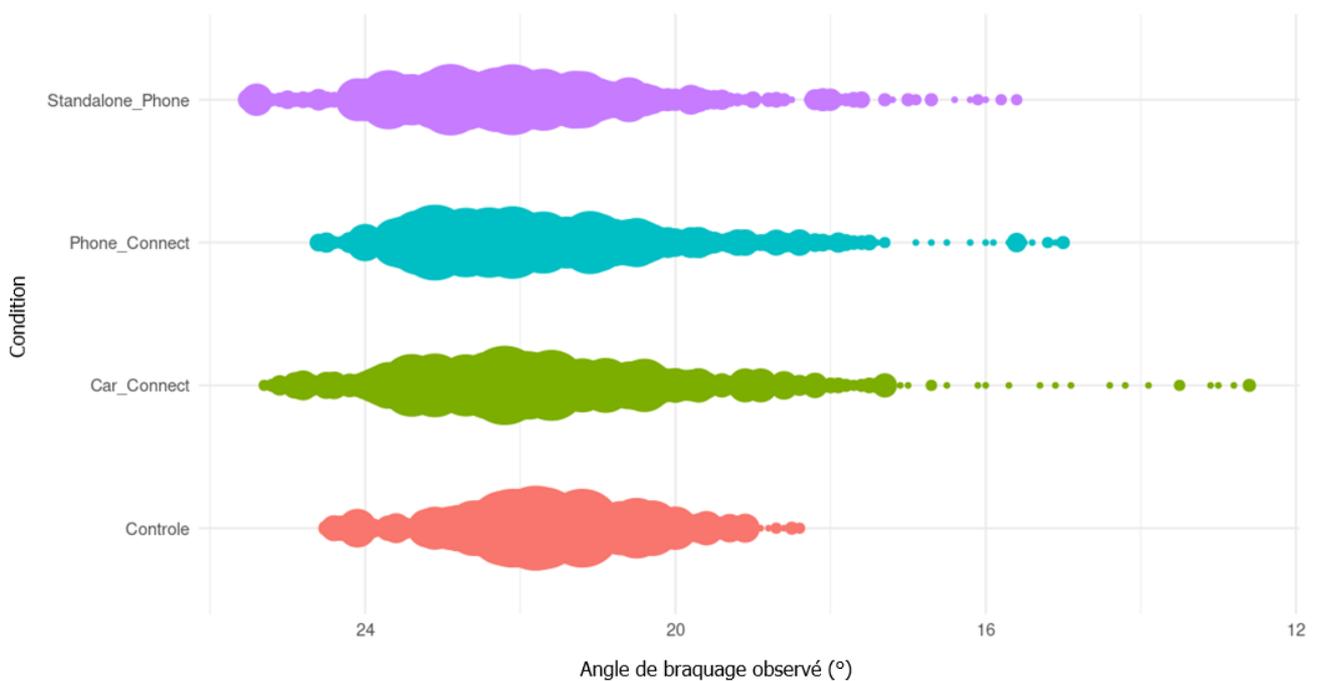


Figure 33 Dispersion des angles de braquage observés (°) par condition.

### 5.4.2.5 Pression sur l'accélérateur

Nous avons également analysé la force appliquée sur l'accélérateur pendant la période de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'à ce que les participants commencent à freiner (voir Figure 34). Dans la condition Contrôle, la pression sur l'accélérateur est la plus faible. La pression est la plus élevée dans la condition Standalone Phone. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative (ou seulement marginale) entre les conditions intermédiaires Car Connect et Phone Connect ( $p = .011$ ). De plus, toutes les différences sont statistiquement significatives. L'examen de la Figure 35 montre que les dispersions de ces forces observées dans les conditions expérimentales sont plus importantes que dans la condition Contrôle. Il y a également beaucoup plus de valeurs aberrantes dans les conditions expérimentales.

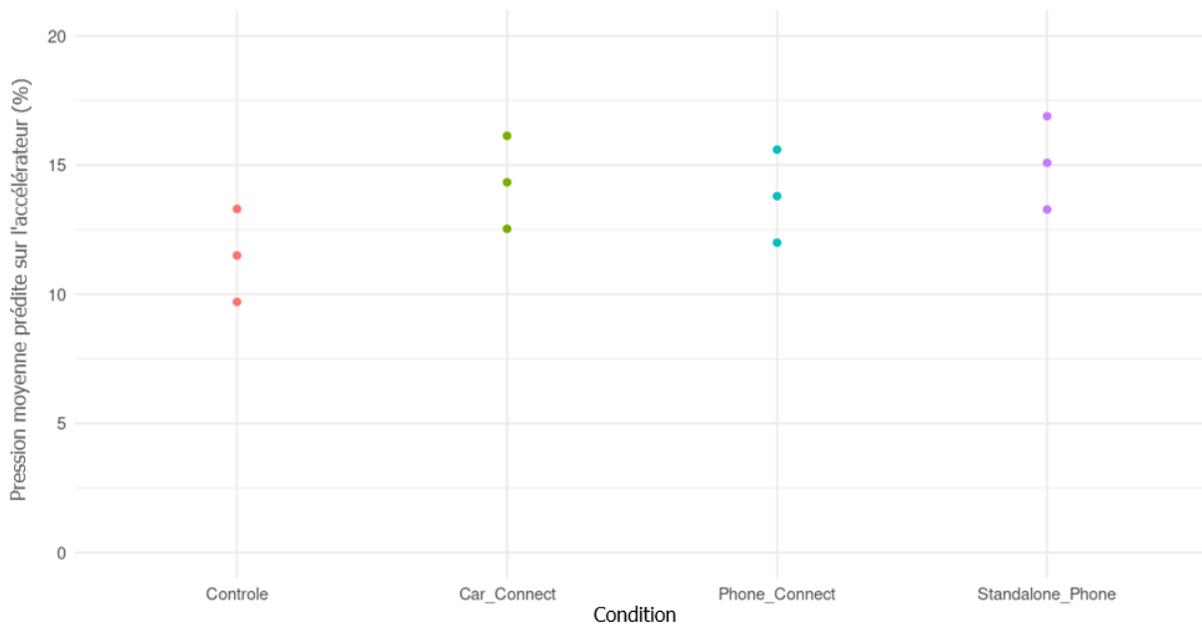


Figure 34 Pression moyenne prédite sur l'accélérateur (%) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

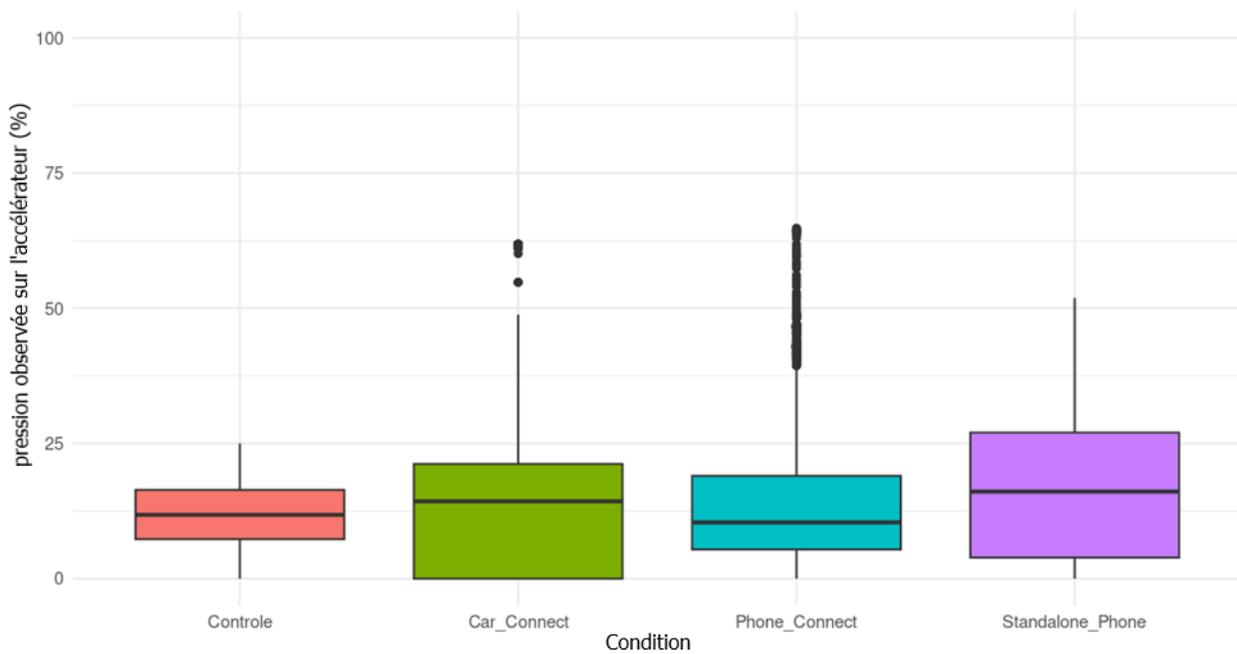


Figure 35 Dispersion de la pression observée sur l'accélérateur (%) par condition.

### 5.4.2.6 Conclusion intermédiaire – Envoyer un message

Nous n'étions pas intéressés par le succès de l'envoi du message WhatsApp, mais bien par l'impact de l'envoi sur la réalisation d'un arrêt d'urgence. Cette influence est manifeste dans les paramètres de conduite et physiologiques que nous avons analysés à partir de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'au moment où les participants ont commencé à freiner.

Des indications significatives de perturbation du comportement de conduite 'normal' apparaissent dans les analyses de la vitesse, de la fréquence cardiaque, de l'angle de braquage et de la pression sur l'accélérateur.

La vitesse générale dans les conditions expérimentales semble, après examen des figures, être inférieure à celle de la condition Contrôle. Cela indique un ajustement du comportement des participants dans les conditions expérimentales. Cependant, seule la condition Phone Connect différait significativement de la condition Contrôle. Une conclusion similaire peut être tirée de la variation de la vitesse. Là encore, nous observons que la vitesse semble varier davantage dans les conditions expérimentales. Cependant, une seule comparaison est statistiquement significative ; les autres se rapprochent du niveau de signification fixé. Le schéma de variation de la vitesse après l'activation de la bande LED semble clairement différent dans les conditions expérimentales par rapport à la condition Contrôle. Le ralentissement progressif observé dans la condition Contrôle est interrompu au moins deux fois dans les conditions expérimentales.

L'analyse de la fréquence cardiaque et de l'angle de braquage conduit à la même conclusion : la fréquence cardiaque est la plus basse dans la condition Contrôle. La fréquence cardiaque dans la condition Car Connect est la plus basse parmi les conditions expérimentales et donc la moins différente de la condition Contrôle. L'angle moyen de direction dans la condition Contrôle diffère de toutes les conditions expérimentales, l'écart étant à nouveau le plus faible avec la condition Car Connect. Les changements dans les angles de braquage sont plus importants dans toutes les conditions expérimentales par rapport à la condition Contrôle.

Enfin, la force appliquée sur l'accélérateur change également dans les conditions expérimentales. En particulier, la pression sur l'accélérateur est plus importante dans les conditions expérimentales. Ces pressions sont également beaucoup plus homogènes (moins variables) dans la condition Contrôle.

Contrairement aux attentes, l'envoi du message WhatsApp ne semble pas avoir d'influence sur le temps de réaction au signal d'arrêt d'urgence. La tendance est cependant dans la direction attendue, mais les différences ne sont pas statistiquement significatives. Seule la condition Car Connect approche du niveau de signification fixé. Ces temps de réaction se distinguent visuellement des autres conditions expérimentales. Une explication plausible pourrait être le dysfonctionnement technique rencontré. En effet, l'envoi du message dans cette condition était particulièrement difficile. La commande vocale requise ne fonctionnait pas correctement. Il existe donc des indications que les effets négatifs peuvent être amplifiés en cas de défaillance technique des IVIS. Cela pourrait être dû au stress et à l'effort cognitif supplémentaires.

## 5.4.3 Utilisation de Spotify

La troisième tâche consistait à utiliser Spotify dans la deuxième partie du circuit. Nous n'étions pas intéressés par le succès de l'exécution de la tâche, mais par l'influence de cette exécution sur les paramètres de sécurité routière. Comme mentionné précédemment, l'application et la liste de lecture ont été ouvertes par l'expérimentateur à l'avant. À chaque fois, au même endroit approximatif sur le circuit, les participants étaient invités à rechercher et sélectionner un titre spécifique dans la liste. Pendant le défilement de la liste, l'expérimentateur a activé la bande LED, après quoi un arrêt d'urgence devait être effectué. Ce lieu et ce moment diffèrent donc (légèrement) d'un participant à l'autre. L'expérimentateur attendait en effet de presser le bouton jusqu'à ce que le participant soit effectivement en train de chercher l'album.

### 5.4.3.1 Temps de réaction à la bande LED

Le temps de réaction à la bande LED est un indicateur de la vitesse à laquelle un arrêt d'urgence est réalisé. Nous ne trouvons pas de différences significatives entre les conditions ( $p = 0.58$ ).

### 5.4.3.2 Vitesse

Nous avons analysé la vitesse pendant la période de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'à ce que les participants commencent à freiner. Les tests sur la vitesse moyenne prédite entre toutes les conditions montrent des différences significatives bilatérales. La vitesse moyenne prédite était la plus basse

dans la condition Contrôle. Dans la condition Car Connect, les participants conduisaient le plus rapidement : en moyenne 1.76 km/h plus vite que dans la condition Contrôle. Dans la condition Phone Connect, cette vitesse était 0.99 km/h plus rapide, et dans la condition Standalone Phone, elle était 0.33 km/h plus rapide que dans la condition Contrôle (Figure 36). Pour les écarts-types de la vitesse observée (Figure 37), nous trouvons des différences significatives entre les conditions expérimentales par rapport à la condition Contrôle ( $p < .001$ ). Les conditions expérimentales entre elles ne diffèrent pas de manière significative. Nous observons que l'écart-type moyen prédit dans la condition Contrôle (0.94 km/h) est inférieur à celui des conditions expérimentales (+ 0.96 km/h à + 1.18 km/h).

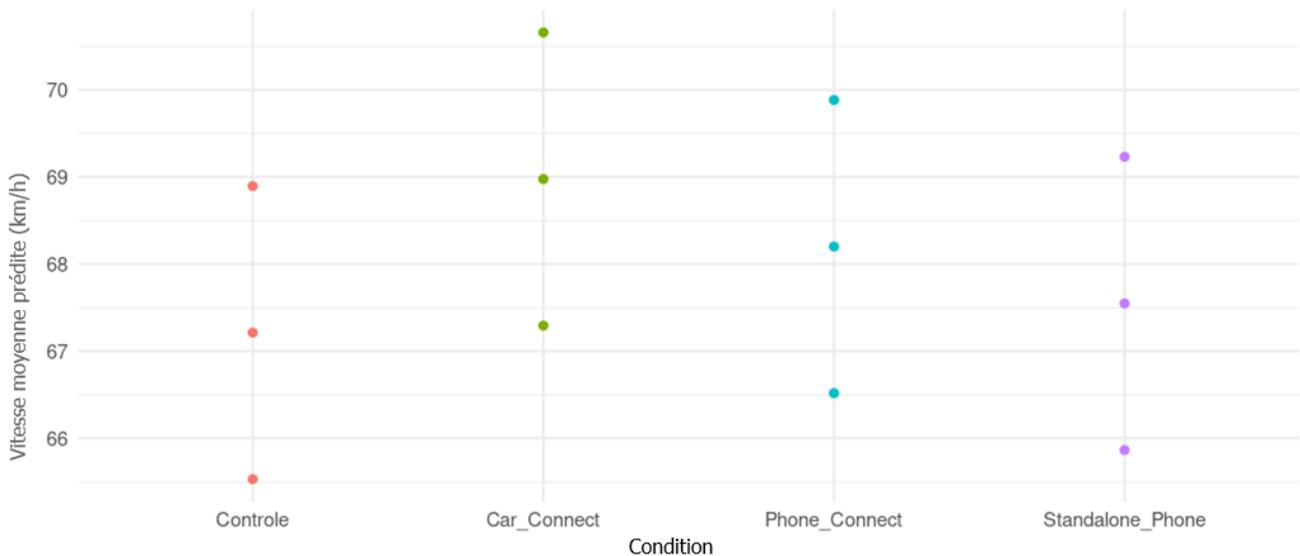


Figure 36 Vitesse moyenne prédite (km/h) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

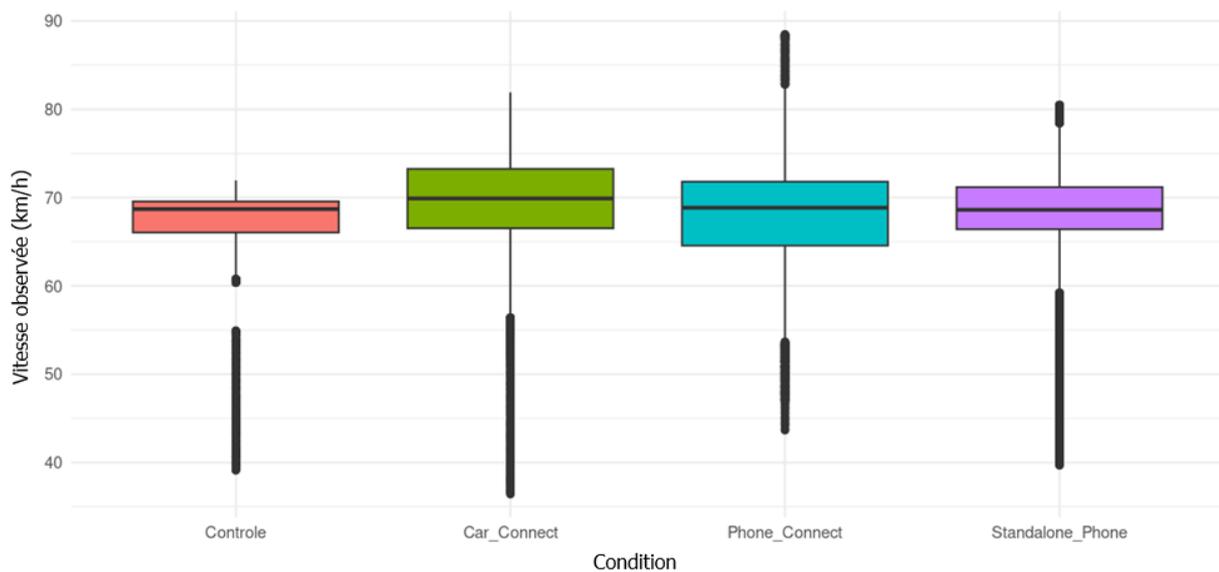


Figure 37 Dispersion des vitesses observées (km/h) par condition.

### 5.4.3.3 Fréquence cardiaque

L'analyse de la fréquence cardiaque, pendant la période de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'au moment où les participants ont commencé à freiner, montre que toutes les conditions diffèrent de manière significative bilatérale, sauf pour la différence entre la condition Contrôle et la condition Standalone Phone ( $p = .90$ ) (Figure 38). Les relations sont cependant complexes. En effet, dans la condition Phone Connect, la fréquence cardiaque moyenne prédite est de .70 battements par minute plus élevée que dans la condition Contrôle ; dans la condition Car Connect, la fréquence cardiaque est en moyenne 3.17 battements

par minute plus basse par rapport à la condition Contrôle. Dans cette condition, la dispersion est également beaucoup plus grande que dans les autres conditions (Figure 39).

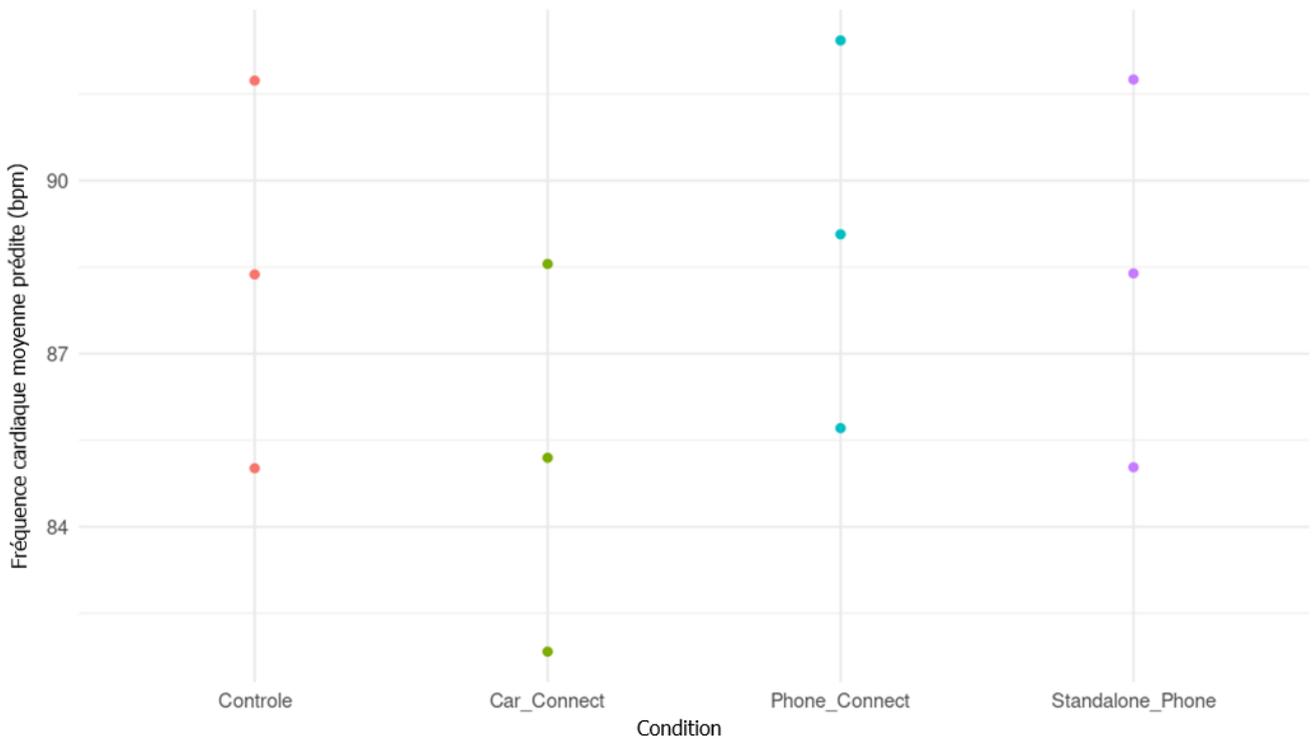


Figure 38 Fréquence cardiaque moyenne prédite (battements par minute) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

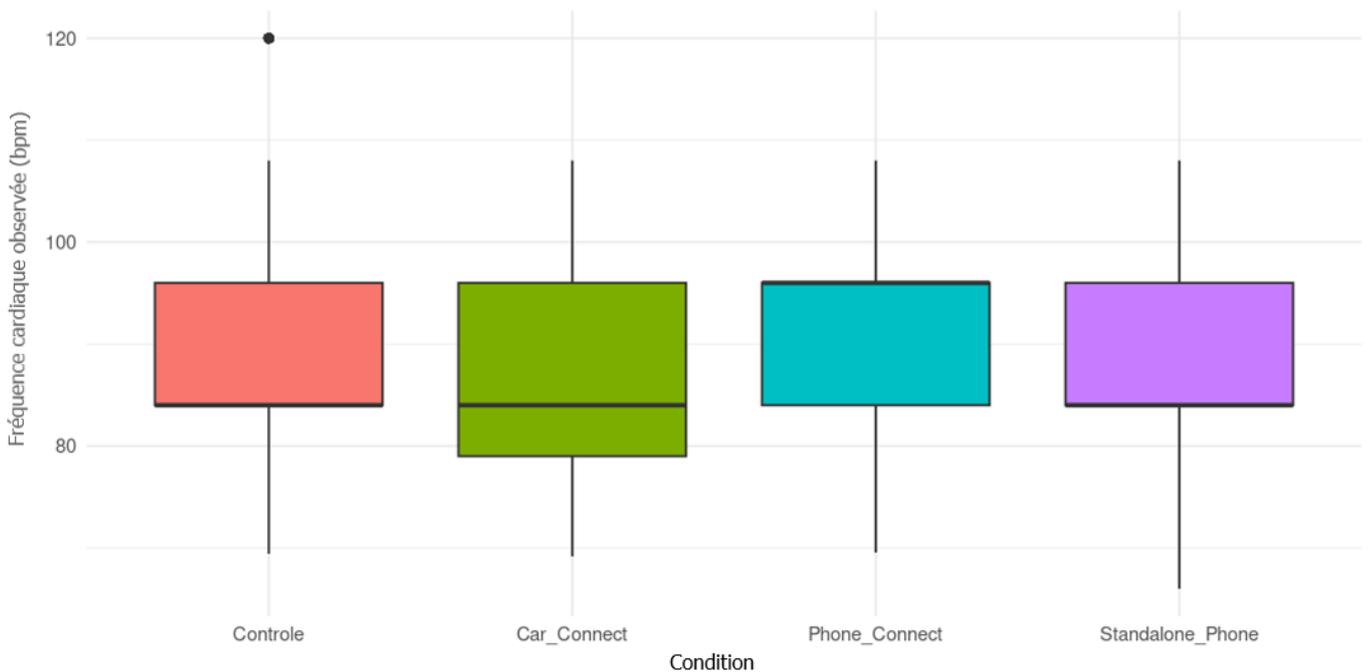


Figure 39 Dispersion de la fréquence cardiaque observée (battements par minute) par condition.

#### 5.4.3.4 Angle de braquage

Nous avons également analysé les angles de braquage pendant la période de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'à ce que les participants commencent à freiner. Rappelons que (dans nos calculs) les

angles de braquage positifs (exprimés en degrés) correspondent aux positions du volant vers la gauche (0° est la position droite du volant). Les angles de braquage dans la condition Contrôle diffèrent de manière significative bilatérale de toutes les conditions expérimentales. La Figure 40 montre que les angles de braquage dans toutes les conditions sont majoritairement orientés vers la gauche (angles positifs). Ceux de la condition Contrôle sont les plus orientés vers la gauche. La condition Car Connect est la moins différente de la condition Contrôle. Lorsque nous examinons les dispersions des angles de braquage observés dans la Figure 41, nous constatons qu'ils sont les plus homogènes dans la condition Contrôle. Dans les conditions expérimentales, les valeurs sont plus dispersées (réparties sur le spectre gauche), avec notamment une plus grande dispersion vers la droite (ou autrement dit : moins vers la gauche).

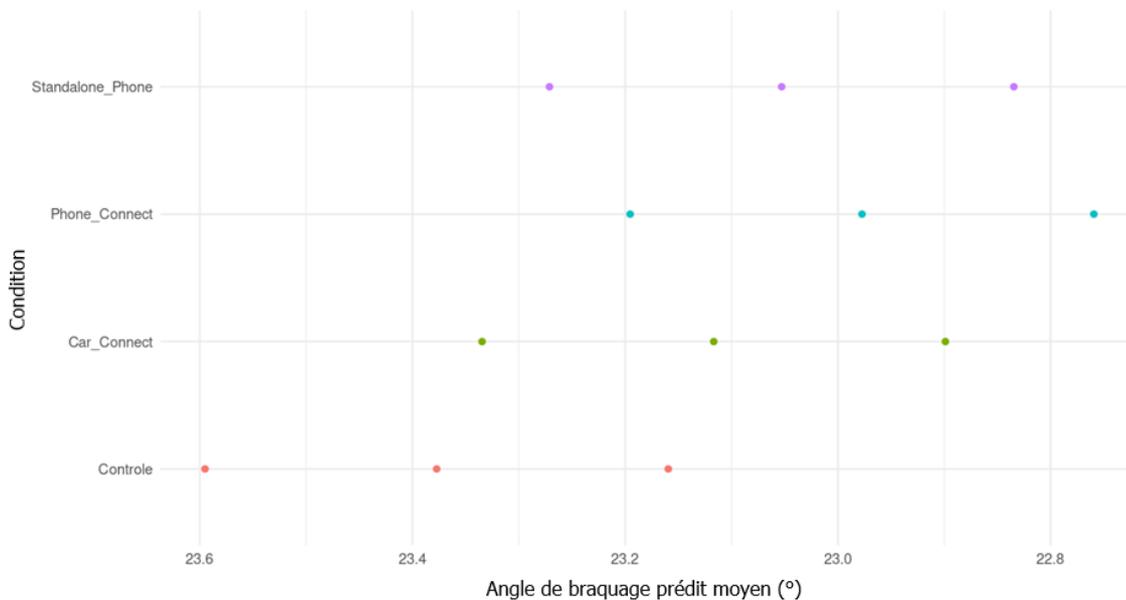


Figure 40 Angle de braquage prédit moyen (°) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

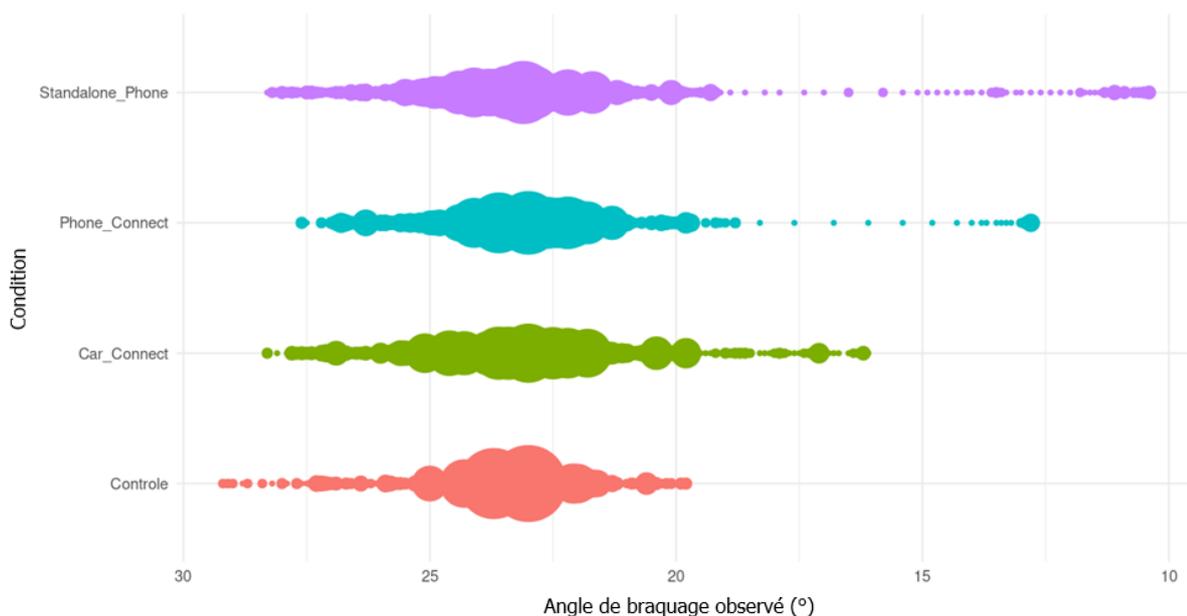


Figure 41 Dispersion des angles de braquage observés (°) par condition.

#### 5.4.3.5 Pression sur l'accélérateur

Nous avons également analysé la force appliquée sur l'accélérateur pendant la période allant de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'au moment où les participants ont commencé à freiner (voir Figure 42).

Toutes les conditions diffèrent de manière significative entre elles. Seule la différence entre les conditions Car Connect et Standalone Phone se rapproche du niveau de signification fixé ( $p = .0038$ ). Dans la condition Contrôle, la pression est la plus faible. La pression est la plus forte dans la condition Car Connect, suivie de près par la condition Standalone Phone. La condition Phone Connect diffère le moins de la condition Contrôle. L'examen de la Figure 43 montre que les dispersions de ces forces observées dans les conditions expérimentales sont plus grandes que dans la condition Contrôle.

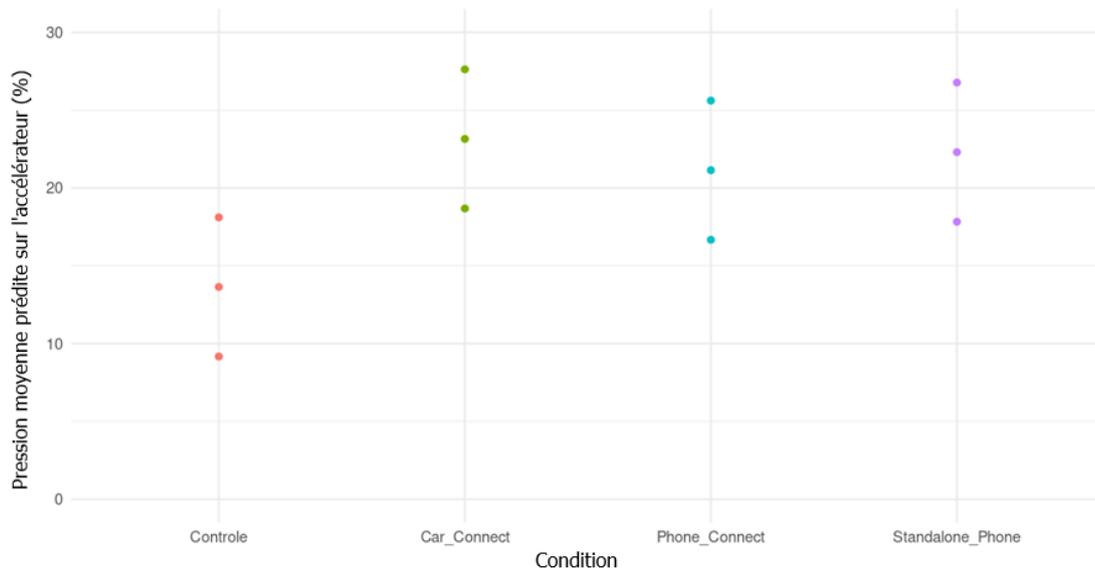


Figure 42 Pression moyenne prédite sur l'accélérateur (%) par condition avec les limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance à 95%.

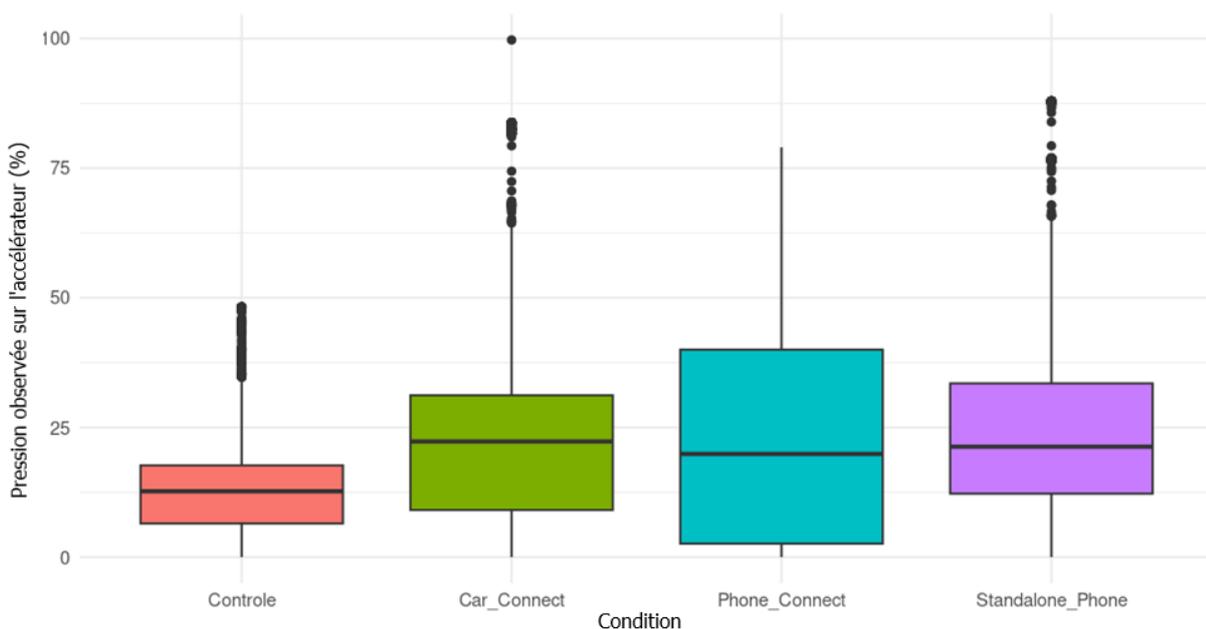


Figure 43 Dispersion de la pression observée sur l'accélérateur (%) par condition.

#### 5.4.3.6 Conclusion intermédiaire – Recherche d'un titre dans une liste de lecture Spotify

Nous n'étions pas intéressés par le succès de la recherche dans la liste de lecture Spotify en soi, mais plutôt par l'influence de la recherche sur l'exécution d'un arrêt d'urgence. Cette influence existe. Elle se révèle à

travers les paramètres de conduite et physiologiques que nous avons analysés à partir de trois secondes avant le signal d'arrêt d'urgence jusqu'au moment où les participants ont commencé à freiner.

Des indications significatives d'une perturbation du comportement de conduite 'normal' sont observées dans les analyses de la vitesse, de la fréquence cardiaque, de l'angle de braquage et de la pression sur l'accélérateur.

La vitesse générale est plus élevée dans les conditions expérimentales que dans la condition Contrôle. Nous interprétons cela comme un ajustement du comportement des participants dans les conditions expérimentales. Une conclusion similaire peut être tirée de la variation de la vitesse. Les variations de la vitesse diffèrent également entre les conditions expérimentales et la condition Contrôle. La vitesse semble plus variable dans les conditions expérimentales.

L'analyse de la fréquence cardiaque et de l'angle de braquage conduit à la même conclusion : il y a un impact de la plupart des conditions expérimentales. Les relations sont cependant complexes, surtout en ce qui concerne la fréquence cardiaque. En effet, dans la condition Car Connect, la fréquence cardiaque était plus basse, tandis que dans la condition Phone Connect, elle était plus élevée que dans la condition Contrôle. Dans cette première condition expérimentale, les participants utilisent un écran plus grand. On pourrait donc émettre l'hypothèse que les participants étaient plus détendus dans cette situation que s'ils avaient dû effectuer la tâche sur un écran plus petit (comparé aux autres conditions expérimentales). Cela semble plausible. Cependant, le fait que les participants soient plus détendus dans la condition Car Connect par rapport à la condition Contrôle est plus difficile à expliquer. Une nuance à souligner est que dans la condition Car Connect, la dispersion de la fréquence cardiaque moyenne observée était de loin la plus grande.

Les conditions expérimentales diffèrent également de la condition Contrôle en termes d'angle de braquage moyen. La différence avec la condition Contrôle est la plus faible pour la condition Car Connect et la plus grande pour la condition Phone Connect. Les changements dans les angles de braquage sont plus importants dans toutes les conditions expérimentales que dans la condition Contrôle.

Enfin, la force appliquée sur l'accélérateur change également dans les conditions expérimentales. En particulier, la pression sur l'accélérateur est plus élevée dans les conditions expérimentales. La pression moyenne prédite sur l'accélérateur est la plus élevée dans la condition Car Connect. Dans la condition Contrôle, la pression sur l'accélérateur est également plus homogène (moins variable).

Contre toute attente, la recherche dans la liste de lecture Spotify semble ne pas avoir d'impact sur le temps de réaction de l'arrêt d'urgence.

## 6 Discussion

Des trois scénarios analysés, nous concluons que la plupart des paramètres de conduite changent dans les conditions expérimentales. L'utilisation des IVIS modifie donc réellement le comportement de conduite. Nous nous basons sur l'observation que les paramètres de conduite et physiologiques dans les conditions Car Connect et/ou Phone Connect et/ou Standalone Phone diffèrent (généralement) de la condition Contrôle. Dans certains cas, les relations sont relativement claires : les paramètres modifiés sont associés à un comportement de conduite moins sûr ou à un état physiologique moins souhaitable. Dans d'autres cas, l'interprétation est plus complexe. Les paramètres varient, mais nous ne faisons pas de commentaires sur l'impact de l'ampleur absolue des différences observées. L'interprétation des chiffres absolus n'a de sens que si le contexte de conduite global est pris en compte. Un comportement de conduite instable est moins sûr, mais devient encore plus dangereux par exemple avec une vitesse accrue. Lors de l'interprétation des paramètres individuels, nous appliquons donc le principe de précaution : toute variation par rapport à la condition Contrôle (quelle que soit la direction) est considérée comme une déviation par rapport à une situation 'normale', c'est-à-dire 'optimale'. Nous considérons cette déviation comme indicative d'une potentielle 'moindre sécurité routière'. Nous n'évaluons pas le succès d'un système d'assistance à la conduite (ADAS), qui pourrait améliorer la sécurité, mais celui d'un système d'info-divertissement (IVIS) qui n'a pas pour objectif en soi d'améliorer la sécurité. Nous interprétons donc les changements comme une 'perturbation de l'état pendant la conduite normale'. Ce changement peut être observé d'une part en valeurs absolues, par exemple une augmentation ou une diminution des moyennes respectives, et d'autre part en termes de cohérence, par exemple une plus grande dispersion ou variabilité des valeurs observées. Ce changement d'état peut se manifester pour différentes variables, notamment en termes de physiologie et/ou en termes de comportement de conduite ou de vision.

La vitesse est un paramètre important pour la sécurité routière. Les changements de vitesse dans les conditions expérimentales sont observés dans chacun des trois scénarios analysés. Pendant la présentation Teams, la vitesse est soit plus élevée dans les conditions expérimentales, soit plus variable. La vitesse est la plus élevée dans la condition Car Connect. Il s'agit de la condition où seules des informations auditives sont fournies. Une augmentation de la vitesse moyenne dans une situation de charge plus élevée ne peut pas être considérée comme plus sûre. Cette hausse de la vitesse pourrait résulter d'un manque de moments de vérification pour contrôler la vitesse actuelle. Dans la condition Phone Connect, la conduite était plus lente, mais il semblait y avoir une plus grande variabilité. Nous observons donc une influence sur la vitesse pendant la réunion Teams dans toutes les conditions expérimentales : soit une augmentation de la vitesse moyenne, soit une plus grande variabilité de la vitesse. Ces deux paramètres sont généralement associés à un comportement de conduite moins sûr (Batabyal, 2021 ; Papantoniou et al., 2017). Il y a également une influence sur la diminution de la vitesse dans les conditions expérimentales : nous avons trouvé des indications d'une différence dans le schéma de la diminution de la vitesse après l'allumage de la LED. Le schéma progressif observé dans la condition Contrôle semble être interrompu dans les conditions expérimentales. La décélération se produit donc différemment, ne se faisant plus de manière continue et progressive.

Une diminution de la vitesse, intentionnelle ou non, comme dans la condition Phone Connect pendant la réunion Teams, peut-être une indication de la mise en place d'un mécanisme de compensation pour une complexité accrue (perçue ou vécue). En d'autres termes, rouler plus lentement peut être une indication d'un effort accru. Cela peut être un choix conscient lorsque l'on constate que la combinaison de toutes les tâches représente une charge trop importante. Une telle diminution de la vitesse dans les conditions expérimentales est également observée comme une tendance pendant l'envoi du message WhatsApp. Cette différence était uniquement statistiquement significative pour la condition Phone Connect. Comme la tâche était d'envoyer le message WhatsApp, les participants ont apparemment choisi de rendre la tâche de conduite 'plus facile' en roulant plus lentement. Pour confirmer cette hypothèse, il faudrait également analyser l'efficacité de la tâche WhatsApp. Cependant, nous n'avons pas ces données. On pourrait argumenter que cet ajustement comportemental est une tentative de compenser l'effort supplémentaire fourni lors de l'exécution de la tâche IVIS. Cependant, avec la diminution de la vitesse, la variabilité de la vitesse a également augmenté, ce qui est un indicateur d'insécurité routière (Batabyal, 2021 ; Papantoniou et al., 2017). Le potentiel effet de sécurité 'gagné' par la réduction de la vitesse est donc (potentiellement) annulé par l'augmentation de la variabilité. Nous ne pouvons donc pas affirmer que l'ajustement comportemental (rouler plus lentement) neutralise toujours complètement la situation plus dangereuse.

Que la réduction de la vitesse comme éventuel mécanisme de compensation ne soit pas une donnée universelle a été démontré par les analyses de la vitesse durant la réunion Teams, où, dans deux des trois conditions expérimentales, la vitesse était plus élevée. De plus, lors du défilement de la liste de lecture Spotify, la vitesse

était également plus élevée dans toutes les conditions expérimentales comparées à la condition Contrôle. Cela pourrait être un effet d'ordre, étant donné que la tâche Spotify était la dernière des tâches IVIS. L'hypothèse est que les participants sont déjà plus 'habitués' à utiliser les IVIS pendant la conduite. Cependant, nous avons également observé une variabilité accrue de la vitesse dans les conditions expérimentales, et donc potentiellement une plus grande insécurité. Les mêmes indications de variabilité accrue de la vitesse dans les conditions expérimentales apparaissent également dans les analyses de la vitesse pendant l'envoi du message WhatsApp.

La pression sur l'accélérateur est liée à la vitesse (et à sa variabilité). La pression sur l'accélérateur a été analysée pendant les trois secondes précédant l'arrêt d'urgence lors de la réalisation des tâches WhatsApp et Spotify. Les résultats sont clairs : pendant les deux tâches, la force exercée sur l'accélérateur change (c'est-à-dire augmente) dans les conditions expérimentales par rapport à la condition Contrôle. Ces pressions sont également beaucoup plus homogènes (moins variables) dans la condition Contrôle. Nous observons donc un écart tant dans les valeurs absolues que dans la consistance, au détriment des conditions expérimentales.

Les autres variables liées au comportement de conduite sont le comportement de direction et l'espace sur la route utilisé par les participants pendant les trajets, mesurés respectivement par l'angle de braquage et la SDLP. Sur la base de ces variables également, nous pouvons conclure que nous trouvons généralement un changement de ces paramètres dans les conditions expérimentales. L'interprétation basée sur la SDLP est complexe, dans le sens où nous ne voyons pas cette différence dans toutes les conditions expérimentales lors du suivi de la réunion Teams. En effet, la condition Car Connect ne diffère pas de la condition Contrôle ; en revanche, les deux autres conditions (Standalone Phone et Phone Connect) présentent une différence. Nous notons cependant qu'il y avait une conduite plus rapide dans toutes les conditions expérimentales. Ainsi, dans deux des trois conditions expérimentales, on roulait non seulement plus vite mais aussi avec plus de variabilité dans la position latérale. L'augmentation de ces deux paramètres séparément est généralement considérée comme des indicateurs de comportement de conduite dangereux (Papantoniou et al., 2017) ; la combinaison des deux l'est encore plus. L'interprétation basée sur les angles de braquage mesurés semble plus simple. Tant pendant l'envoi du message WhatsApp que lors du défilement dans la liste de lecture Spotify, nous voyons que les angles de braquage des conditions expérimentales sont significativement différents de ceux de la condition Contrôle. Nous interprétons à nouveau que tout changement de comportement par rapport à la condition de référence indique l'influence de l'utilisation des IVIS. Non seulement les angles de braquage moyens changent. Dans les conditions expérimentales, il y a une plus grande variation de ces angles, alors que nous trouvons des valeurs relativement homogènes dans les conditions Contrôle. Nous concluons donc à une influence négative de l'utilisation des IVIS à partir de l'observation que, dans les conditions expérimentales, nous constatons d'une part un changement des valeurs absolues, et d'autre part une plus grande variabilité dans les variables mesurées.

De plus, nous pouvons également conclure à partir des analyses des mesures physiologiques qu'il y a généralement une différence entre les conditions Contrôle et expérimentales. Tout changement dans la réponse corporelle par rapport à la condition Contrôle, que nous considérons comme la référence, est interprété comme une 'perturbation du schéma normal'. Lors de l'envoi du message WhatsApp et pendant la réunion Teams, le schéma était facile à interpréter. En effet, dans toutes les conditions expérimentales, la fréquence cardiaque a augmenté, ce qui indique un effort accru, du stress ou une charge de travail (Papantoniou et al., 2017). Pendant le défilement dans la liste de lecture Spotify, le schéma de la fréquence cardiaque est plus difficile à interpréter. En effet, seulement dans la condition Phone Connect, la fréquence cardiaque était plus élevée que dans la condition Contrôle. Cependant, dans la condition Car Connect, la fréquence cardiaque était plus basse. Cela semble être une constatation étrange, car cela pourrait suggérer que dans cette condition, les participants étaient en quelque sorte plus détendus ou moins mentalement sollicités que dans la condition Contrôle. Nous devons cependant être prudents dans l'interprétation de ce résultat. En effet, les variations des fréquences cardiaques observées étaient beaucoup plus importantes dans cette condition que dans les autres conditions. Cela suggère donc que la fréquence cardiaque peut varier fortement d'un individu à l'autre dans une certaine condition, par exemple dans la condition Car Connect lors du défilement dans Spotify. Une variation interindividuelle importante d'une certaine mesure physiologique dans une condition particulière a également été observée dans l'analyse de la respiration pendant la réunion Teams. Le schéma basé sur la fréquence respiratoire était très similaire à celui de la vitesse pendant cette tâche IVIS. En effet, dans les deux conditions expérimentales où l'on roulait plus vite, on respirait aussi plus rapidement. Une fréquence respiratoire accrue est généralement associée à un effort ou à un stress accru (Papantoniou et al., 2017). Dans la condition Phone Connect, non seulement on roulait plus lentement que dans la condition Contrôle, mais on respirait aussi plus lentement. La même nuance dans l'interprétation peut être appliquée ici. La vitesse était peut-être plus basse, mais sa variabilité était plus élevée. De même, la

fréquence respiratoire était plus basse, mais il y avait clairement quelques valeurs aberrantes dans cette condition. Cela peut être une indication de mesures perturbées ou compliquées, ou d'une réponse naturellement irrégulière.

Dans ce qui précède, nous avons décrit la plupart des variables comme indépendantes les unes des autres. Cependant, le comportement de conduite, et plus précisément sa sécurité, est le résultat de l'interaction complexe de nombreux facteurs. Certains d'entre eux ont été identifiés. Nous concluons à nouveau que cette interaction change dans les conditions expérimentales, au détriment de ces conditions expérimentales. Un exemple en est observé lors du suivi de la réunion Teams. Nous avons observé des vitesses et des angles de braquage relativement constants dans la condition Contrôle. Le comportement de conduite semblait suivre un certain nombre de régularités probables et stratégiquement déterminées, telles que les changements de vitesse en fonction du comportement de direction. En plus des variations accrues de la vitesse, du comportement de direction et des dépassements de la vitesse maximale (principalement dans les conditions Phone Connect et Standalone Phone), nous trouvons les régularités précédemment mentionnées, à savoir les relations temporelles entre le changement d'angle de braquage et le changement de vitesse, beaucoup moins marquées dans les conditions expérimentales.

Un autre exemple de l'interaction complexe des facteurs est apparu dans l'analyse du comportement visuel pendant le suivi de la réunion Teams. Nous avons conclu que la plupart des changements de vitesse et le comportement de direction instable se produisaient pendant les périodes où le participant regardait à plusieurs reprises les écrans de la voiture. Il semblait également que plus le temps passé à regarder les écrans était long, plus les changements de vitesse et d'angle de braquage étaient importants. Nous avons donc conclu qu'une augmentation du comportement visuel vers les écrans est associée à un changement dans d'autres paramètres de conduite qui indiquent une baisse de la qualité de conduite.

Le comportement visuel vers les écrans pendant la réunion Teams était comme prévu le moins présent dans la condition Car Connect. En effet, en raison des restrictions techniques, aucune information visuelle n'était offerte dans cette condition : la réunion se déroulait uniquement par message vocal. Il y a des indications que dans cette condition, le tableau de bord, où se trouve également le compteur de vitesse, était plus observé que dans les autres conditions expérimentales. Le compteur de vitesse offre la possibilité de réguler et éventuellement d'ajuster la vitesse. Lorsqu'une partie substantielle du temps de regard est passée sur les écrans, il reste proportionnellement moins de temps pour regarder le tableau de bord ; la route devant le véhicule nécessitant un nombre minimal de fixations.

À partir de la discussion précédente et des résultats, il semble que la condition Car Connect (sans information visuelle donc) soit la condition expérimentale la moins perturbatrice. Cette conclusion découle également d'autres paramètres. En effet, pendant la réunion Teams, la SDLP et le comportement de vision étaient les plus proches de ceux de la condition Contrôle. C'était également le cas pour la fréquence respiratoire et la fréquence cardiaque. De plus, nous avons également conclu (à partir d'une inspection visuelle) que la perturbation du lien temporel entre le changement d'angle de braquage et le changement de vitesse était la moins prononcée dans la condition Car Connect. De même, lors des autres tâches IVIS, lorsque des différences significatives étaient observées entre la condition Contrôle et les conditions expérimentales, la condition Car Connect était généralement la moins différente. C'était le cas, par exemple, pour la fréquence cardiaque et l'angle de braquage lors de l'envoi du message WhatsApp et pour l'angle de braquage lors du défilement dans la liste de lecture Spotify. Dans un certain nombre d'autres conditions, d'autres conditions expérimentales étaient significativement différentes de la condition Contrôle et non la condition Car Connect. C'était par exemple le cas pour la SDLP lors de la réunion Teams et pour la vitesse lors de l'envoi du message WhatsApp. Le fait que cette condition soit la moins perturbatrice peut être expliqué par les modèles théoriques que nous avons présentés. Pendant la présentation PowerPoint, aucune image n'a été utilisée : le conducteur recevait uniquement des informations auditives. Étant donné que l'information utilisée dans la circulation est principalement visuelle (Sivak, 1996), pendant cette condition, les flux d'informations à traiter sont donc répartis sur différentes modalités, ce qui réduit la charge du 'canal visuel'. La répartition des flux d'informations a été mentionnée par Scerra et Brill (2012) comme étant moins propice à l'interférence de tâche. Même dans les situations où l'écran était utilisé dans la condition Car Connect (lors de l'envoi du message et du défilement dans la liste de lecture Spotify), cette condition semblait moins perturbatrice par rapport aux autres conditions expérimentales. La différence principale réside dans la taille de l'écran et les restrictions imposées soit par la voiture, soit par le smartphone. Un écran plus grand est moins exigeant pour le système visuel car les détails sont plus faciles à voir (pour une même quantité d'informations à l'écran).

En plus des tendances générales, nous avons observé plusieurs autres résultats intéressants. Lors de l'analyse des schémas des mouvements oculaires, nous avons trouvé des différences notables entre les participants. Dans les conditions Phone Connect et Standalone Phone, les participants regardaient souvent attentivement les écrans durant la réunion Teams. Cependant, chez certains participants, cela était beaucoup moins le cas. Nous interprétons cela comme une forme d'auto-régulation. Nous n'avons pas analysé dans quelle mesure cette auto-régulation a influencé la qualité de la tâche Teams (ou d'autres paramètres). Pour cela, une comparaison du schéma de balayage avec la qualité des réponses aux questions après la réunion Teams ou avec d'autres paramètres serait nécessaire. Une autre indication d'auto-régulation a été tirée du fait que les écrans étaient (presque) non regardés pendant la prise de virage lors de la réunion Teams. Cela peut être considéré comme une forme d'homéostasie du risque (Graham, 1998). Le principe de base de l'homéostasie du risque est que lorsque les gens pensent que le risque a diminué ou est faible, ils ajustent leur comportement et prennent donc plus de risques. Inversement, un risque perçu plus élevé entraîne un comportement moins risqué. De ce point de vue, nous pourrions conclure que les participants perçoivent probablement la prise de virage comme plus difficile ou plus dangereuse et regardent donc moins ou beaucoup moins les écrans. Du point de vue de la sécurité routière, on pourrait être d'accord avec l'idée que la prise de virage est une situation intrinsèquement plus difficile. Cependant, cela ne signifie pas que les risques dans les autres sections de la route sont négligeables et justifient une plus grande prudence au risque.

Lors du suivi de la réunion Teams, nous avons également trouvé des indications possibles de dépendance aux écrans. La dépendance aux écrans, la dépendance numérique, le temps d'écran inconscient ou le temps d'écran passif sont des termes qui décrivent un comportement où une personne fixe un écran sans beaucoup réfléchir ou de manière consciente (OpenAI, 2024). Nous avons conclu cela parce que nous avons vu que les participants regardaient les écrans (dans la condition Contrôle et la condition Car Connect) alors qu'il n'y avait rien à voir. Une explication alternative pourrait être que ce n'étaient que des fixations 'perdus'. Cela est également plausible car le nombre de telles fixations n'était pas élevé et les écrans étaient situés dans le champ de vision vers l'avant (sur la route). Il existe également d'autres explications alternatives pour les différences interindividuelles observées. La différence dans l'expérience de conduite et la familiarité avec les applications IVIS utilisées peuvent également influencer les effets trouvés. Nous avons essayé de limiter cette influence en utilisant des participants avec un minimum d'expérience de conduite (entre 2 et 31 ans en possession d'un permis de conduire), en utilisant des applications IVIS relativement connues et en offrant un choix du type de smartphone. Cela ne permet cependant pas de tout contrôler : les compétences peuvent varier entre les participants, et l'un d'eux peut être compétent avec une application IVIS tout en étant moins à l'aise avec une autre. Nous n'avons pas fait de vérifications à ce sujet.

Nous avons également tiré des conclusions sur l'efficacité du suivi d'une réunion Teams. Nous avons constaté que les erreurs montrées lors d'une présentation sont plus difficiles à détecter que les erreurs dites. En se basant sur cela, nous pourrions affirmer que suivre une réunion en conduisant n'est pas une bonne idée pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le suivi lui-même, indépendamment de la manière dont il se fait, perturbe le comportement de conduite et de vision habituel. Deuxièmement, si des erreurs sont présentées, il y a peu de chances qu'elles soient remarquées, surtout s'il s'agit d'une erreur visuelle. Suivre une réunion Teams semble donc non seulement plus dangereux pour ces raisons, mais aussi moins efficace.

Nous avons précédemment conclu que, parmi toutes les conditions expérimentales, la condition Car Connect semblait être la moins différente de la condition Contrôle. Une exception notable à cela se produisait lors de l'envoi d'un message WhatsApp. La différence avec la condition Contrôle a presque atteint le niveau de signification fixé, mais les valeurs absolues étaient visuellement très différentes des autres conditions expérimentales. Il se trouve que dans cette condition, le fonctionnement technique ne s'est pas déroulé comme prévu. En effet, la commande vocale requise ne fonctionnait pas correctement. Nous avons interprété cela comme un indice que, lors d'une défaillance technique de l'IVIS, les effets (potentiellement) négatifs peuvent être amplifiés. Cela pourrait être dû à un stress supplémentaire et à un effort cognitif accru qui en découle. À cet égard, nous soulignons que nous avons examiné dans cette étude les effets de l'exécution des tâches IVIS concernées, et non de leur activation. Dans certains cas, l'activation d'une application IVIS spécifique peut entraîner une charge plus importante que son utilisation (correcte). Dans ces situations, nous nous attendons donc à une augmentation des effets négatifs.

À partir des cadres théoriques concernant le traitement de l'information, l'interférence des tâches et la distraction, nous pouvons conclure que l'utilisation des IVIS pendant la conduite engendre une charge plus importante pour le système de traitement de l'information. Cela conduit à une interférence des tâches, ou du moins à une modification du schéma normal, et donc à une distraction. La distraction est minimisée lorsque le canal le plus sollicité pendant la conduite (le visuel) est préservé. Cela se produit d'une part lorsque

l'information auditive est préférée à l'information visuelle. Nous avons en effet observé que certains paramètres et schémas de conduite importants changeaient lorsqu'on regardait les écrans IVIS. Cela se produit également lorsque le traitement de l'information visuelle supplémentaire nécessite moins d'effort, par exemple lorsque les informations sont affichées sur des écrans plus grands. La confirmation de l'interférence des tâches, et donc de la distraction, a plusieurs conséquences. Tout d'abord, les personnes avec un système de traitement de l'information diminué sont donc particulièrement sensibles aux effets négatifs. Cooper et ses collègues (2020) ont par exemple montré qu'avec l'âge croissant, la capacité d'attention peut également diminuer. Il en résulte que le conducteur plus âgé pourrait être plus vulnérable. Il en va de même pour les personnes ayant un trouble de l'attention ou une capacité d'attention réduite. Ces troubles sont présents dans diverses conditions médicales, par exemple dans les troubles neurodégénératifs et psychiatriques (Ballard et al., 2001 ; Barry et al., 2015 ; Chiaravalloti & DeLuca, 2008 ; Duckworth et al., 1997 ; Fulda & Schulz, 2001 ; Keller et al., 2019 ; Luck & Gold, 2008 ; Park & Ingles, 2001 ; Sahu et al., 2022 ; Thompson et al., 2010). Dans ces cas également, les effets négatifs seront plus prononcés. Les effets d'une tâche supplémentaire ne sont, paradoxalement, pas les mêmes pour chaque trouble de l'attention. En effet, il existe des preuves que les personnes atteintes de TDAH et de TDA (où les mécanismes d'attention sont également perturbés) peuvent mieux performer en raison de la stimulation supplémentaire, surtout dans des situations relativement monotones. Cela peut être comparé à la pratique clinique : souvent, ces troubles sont également traités avec des médicaments stimulants (Fone & Nutt, 2005). Les personnes ayant un trouble visuel sont également désavantagées. Étant donné que la plupart des informations à traiter pendant la conduite sont visuelles (Sivak, 1996) et que ce canal de traitement de l'information fonctionne donc moins bien chez elles, la conduite devient une tâche plus difficile pour elles que pour les personnes sans problème de vision. Toute charge supplémentaire de ce canal doit donc être évitée. Si les IVIS imposent un traitement visuel supplémentaire, cela aura un impact négatif encore plus prononcé pour cette population. Privilégier l'utilisation de la modalité auditive pourrait atténuer partiellement cet effet, ou bien choisir de manière stratégique l'emplacement des informations visuelles, notamment en cas de troubles du champ visuel. Pour la même raison, les personnes avec un handicap auditif sont également désavantagées. En effet, elles sont contraintes (lire 'condamnées') au canal visuel et peuvent plus difficilement éviter une charge visuelle supplémentaire.

Cette étude présente plusieurs limitations. Tout d'abord, en optant pour l'utilisation d'une vraie voiture sur un véritable circuit, nous perdons le contrôle absolu sur certaines variables et éléments. Par exemple, il existe de petites variations de localisation, ainsi que d'autres différences, concernant le moment où l'arrêt d'urgence a été déclenché. L'initiation de l'arrêt d'urgence était décidée par l'expérimentateur. La décision dépendait notamment de la vitesse du moment et du degré auquel le participant était engagé dans la tâche IVIS. Ces différences compliquent l'analyse comparative des données. Deuxièmement, avec notre configuration actuelle, nous ne pouvons pas exclure que des effets d'entraînement ou d'ordre influencent les résultats trouvés. À cet égard, la performance de conduite pourrait par exemple s'améliorer avec le temps. Nous avons cependant randomisé les conditions expérimentales parmi les participants, mais la condition Contrôle était toujours la première. C'était un choix délibéré. En effet, si l'on s'attend à ce que les paramètres de conduite s'améliorent avec le temps, alors une détérioration des paramètres de conduite dans les conditions expérimentales est une indication plus forte de l'effet expérimental négatif. L'influence des effets d'entraînement ou des attentes pourrait expliquer pourquoi nous ne trouvons pas d'effets significatifs sur les mesures du temps de réaction. Étant donné que l'arrêt d'urgence se produisait uniquement et toujours dans le même segment, les participants pouvaient prédire approximativement quand il aurait lieu. Ils étaient donc peut-être 'mentalement' préparés. Nous avons uniquement étudié l'utilisation des IVIS, sans tenir compte de leur activation. L'argument derrière ce choix était que l'activation peut se faire avant de démarrer la conduite. Cependant, nous ignorons dans quelle mesure cela se fait réellement. Cela dit, étant donné la charge cognitive attendue, nous supposons que l'activation, surtout si le design n'est pas suffisamment ergonomique, peut demander au moins autant d'effort que l'utilisation elle-même. Troisièmement, nous ne pouvons pas totalement exclure l'influence des différences dans l'expérience de conduite, l'expérience de l'utilisation des IVIS, l'expérience de l'utilisation des IVIS pendant la conduite, les différences interindividuelles dans l'expérience avec les applications IVIS choisies, ni par exemple l'âge, les différences cognitives interindividuelles et les caractéristiques de personnalité. La revue de la littérature montre que toutes ces variables peuvent influencer la performance des tâches. Enfin, nous avons constaté que le traitement des données obtenues en temps réel, notamment les données de suivi oculaire, est très laborieux et nécessite à la fois du matériel et des logiciels avec une capacité de calcul supérieure à la normale. En raison des limitations rencontrées, nous n'avons pas réussi à traiter et à intégrer toutes ces données dans ce rapport dans le délai et le budget impartis. Cependant, nous avons pu, sur la base des données que nous avons traitées, tirer certaines conclusions qui, pour les raisons mentionnées ci-dessus, ont parfois un caractère indicatif. À ce sujet, on peut se demander si pour ce dispositif expérimental, avec une taille d'échantillon relativement limitée (N=27), il ne serait pas préférable d'utiliser un test statistique non

paramétrique ou un test paramétrique avec des valeurs transformées. Nous avons opté pour la version paramétrique car des techniques similaires ont été utilisées dans des études comparables. De plus, le 'problème' statistique des données non normalement distribuées est quelque peu atténué par le fait que nous utilisons un design 'intra-sujets'.

## 7 Conclusions

Sur la base de cette recherche, nous concluons que l'utilisation des IVIS a un impact sur le comportement de conduite. Lors de l'exécution de trois tâches IVIS, à savoir suivre une réunion Teams, envoyer un message WhatsApp et faire défiler une liste de lecture Spotify, plusieurs paramètres importants changent par rapport à la condition Contrôle. Ces paramètres décrivent à la fois des aspects du comportement de conduite, du comportement visuel et de l'état du corps en relation avec la sécurité routière. Dans certains cas et situations, les relations sont relativement claires et également univoques à interpréter : le changement dans les paramètres mesurés est associé à un comportement de conduite moins sûr ou à un état physiologique moins souhaitable pendant l'utilisation des IVIS. Dans d'autres cas et situations, cette interprétation est plus complexe. Mais dans la plupart des cas, au moins une mesure des paramètres concernés change lors d'une ou plusieurs tâches IVIS ou d'une ou plusieurs façons d'utiliser les IVIS : soit la valeur absolue, soit la variance de celle-ci. Les deux peuvent être interprétés comme un changement par rapport à la situation optimale et donc comme défavorable. Nous considérons donc les changements comme un indicateur potentiel d'une diminution de la sécurité routière. Ces changements se situent au niveau de la vitesse moyenne, de la variabilité de la vitesse et de la régulation de la vitesse, de la fréquence cardiaque et de sa variabilité, de la fréquence respiratoire, de l'angle de braquage, de la SDLP et du comportement visuel. L'analyse de certaines combinaisons de ces paramètres nous a également permis de conclure que le (supposé optimal) schéma de conduite peut être perturbé : les régularités logiques et stratégiques qui caractérisent une conduite sûre semblent disparaître lors de l'utilisation des IVIS.

Les effets de l'utilisation des IVIS peuvent être complexes et dépendre de nombreux facteurs. En effet, tout le monde n'est pas également sensible aux effets négatifs de l'utilisation des IVIS pendant la conduite. Nous avons observé une grande variabilité entre les participants, ce qui pourrait indiquer un certain niveau d'auto-régulation. Les différences dans les compétences cognitives, l'expérience de conduite et l'utilisation peuvent également expliquer ces différences, au moins en partie. Nous avons interprété certains résultats comme un comportement compensatoire, tel que rouler plus lentement dans des conditions difficiles. Cependant, bien que la vitesse diminue, sa variabilité augmente. Cela pourrait annuler les améliorations en matière de sécurité, rendant ces bénéfiques purement illusoirs. Nous avons également souligné que l'auto-régulation et le comportement compensatoire peuvent avoir un effet positif sur la sécurité. Toutefois, cela nécessite une évaluation adéquate du niveau de difficulté et de danger de la situation. Manifestement, ce niveau est relativement élevé lors de la prise d'un virage. Cela ne signifie pas nécessairement que, dans d'autres conditions de conduite, le niveau de difficulté et de danger est considérablement plus bas ; peut-être que le danger réside dans d'autres aspects. Ainsi, ce n'est pas parce que la prise d'un virage comporte un danger supplémentaire que les autres situations de conduite sont intrinsèquement 'plus faciles' et donc plus tolérantes à la 'distraction'.

Selon les cadres théoriques sur le traitement de l'information, l'interférence des tâches et la distraction, nous concluons que l'utilisation des IVIS pendant la conduite entraîne une plus grande charge sur le système de traitement de l'information. Cela conduit à une interférence des tâches, ou du moins à un changement du schéma normal, et donc à de la distraction. Ces cadres expliquent l'effet comme suit : nos capacités d'attention sont limitées. La circulation exige une certaine quantité de capacité d'attention. Chaque tâche supplémentaire nécessite une capacité supplémentaire, et lorsque cette capacité est épuisée, la performance diminue et la distraction survient. Cette distraction peut se manifester de plusieurs façons : diminution de certains comportements (par exemple, regarder le tableau de bord), changement d'état physique (par exemple, fréquence cardiaque), modification de la conduite et du freinage. La distraction peut être réduite lorsque, pendant la conduite, le canal le plus sollicité (le visuel) est épargné. Cela se produit lorsque les informations auditives sont préférées aux informations visuelles. Cela se produit aussi lorsque le traitement de l'information visuelle supplémentaire nécessite moins d'effort, par exemple en offrant les informations sur des écrans plus grands. Cela correspond à notre condition Car Connect, où le smartphone est relié au système d'infodivertissement du véhicule, permettant ainsi d'utiliser l'écran plus grand de la voiture. Toutefois, certaines fonctions techniques peuvent être limitées, réduisant ainsi les sources potentielles de distraction. Néanmoins, il arrive que la charge sur le système de traitement de l'information augmente pour tout le monde, par exemple lorsque le système IVIS ne fonctionne pas correctement. Dans ce cas, on parle d'une charge cognitive ou mentale supplémentaire qui peut aggraver les effets négatifs.

La confirmation de l'interférence des tâches, et donc de la distraction, entraîne plusieurs implications. Tout d'abord, il apparaît qu'il est toujours plus sûr de ne pas utiliser les IVIS plutôt que de les utiliser. L'utilisation

des IVIS ne devrait donc pas être encouragée. En particulier, l'affirmation selon laquelle l'utilisation des IVIS améliorerait la sécurité routière ne peut être confirmée par cette étude. Elle a un impact négatif sur les paramètres de conduite, de vision et corporels. L'objectif de cette étude n'était pas de quantifier les changements. Nous avons toutefois donné une indication de ces changements dans le cadre de l'utilisation de WhatsApp. En raison du temps de réaction plus lent dans la condition Car Connect (généralement considérée comme la 'condition la moins perturbante'), le conducteur appuie sur le frein 3,7 mètres plus tard à 70 km/h (la vitesse actuelle à ce moment-là) que dans la condition Contrôle. Cela équivaut à la longueur d'une petite voiture. Nous ne pouvons pas non plus confirmer que l'utilisation des IVIS conduirait à une augmentation de l'efficacité dans d'autres domaines. Nous avons conclu que la participation à une réunion Teams n'était pas efficace. Deuxièmement, l'effet négatif est plus important pour certaines populations que pour d'autres : nous pouvons supposer que les personnes avec un système de traitement de l'information réduit (pathologique ou non) sont particulièrement sensibles aux effets négatifs. Cela vaut également pour les personnes ayant une déficience visuelle ou auditive. Troisièmement, se soumettre à une distraction peut être un choix ; en d'autres termes, certaines personnes résistent à la tentation de la distraction. Nous avons observé qu'adopter une stratégie de compensation lors des 'moments apparemment difficiles' est sans aucun doute bénéfique. Cela ne veut pas dire pour autant qu'en dehors de ces moments, l'attention puisse être divisée sans limites entre des éléments non pertinents pour la conduite. De plus, nous avons souligné que regarder les écrans n'est pas toujours un choix délibéré: nos yeux peuvent parfois être automatiquement attirés vers eux. Nous avons fait référence au concept de dépendance aux écrans.

## 8 Recommandations

Il est évident que l'utilisation des IVIS n'améliore pas systématiquement la sécurité routière. Nous recommandons de limiter l'impact de la distraction à travers une combinaison de contrôle, de régulation, de campagnes de sensibilisation et d'informations, visant tant le conducteur, le véhicule que l'infrastructure. Certaines de ces mesures relèvent des politiques nationales et locales, tandis que d'autres nécessitent des initiatives internationales. Les thèmes abordés incluent les aspects techniques, l'évaluation et le développement, l'infrastructure, la formation, ainsi que le contrôle. Certains conseils couvrent plusieurs de ces domaines.

Sur le plan technique, et du côté des fabricants, certaines fonctions devraient être rendues inutilisables pendant la conduite, comme c'est déjà partiellement le cas actuellement. Dans notre étude, c'était principalement la distraction visuelle qui perturbait les processus normaux. Limiter les fonctionnalités visuelles semble donc justifié. Les décideurs politiques devraient se prononcer, de préférence sur la base de preuves scientifiques, quant à savoir si ces restrictions techniques peuvent être levées par l'utilisateur et, le cas échéant, dans quelles circonstances. On peut imaginer que certaines restrictions pourraient être levées, par exemple, lorsque le véhicule est en mode stationnement. Cela soulève également des questions sur la légalité des applications qui contournent toutes les restrictions techniques et sur les messages publicitaires prétendant que l'utilisation des IVIS améliore la sécurité routière.

Idéalement, cette 'régulation' ne devrait pas se limiter aux produits IVIS individuels, mais englober tous les systèmes IVIS qui sont simultanément présents et actifs dans le véhicule. En effet, de nombreuses petites 'charges (visuelles)' peuvent s'additionner et créer une charge importante. Cela plaide en faveur d'un système d'enregistrement et de régulation dans le véhicule. Par exemple, si un certain IVIS génère déjà une charge visuelle, un autre IVIS ne devrait pas en créer une supplémentaire et devrait utiliser un autre mode de fonctionnement, ou bien un IVIS particulier pourrait en exclure un autre simultanément. D'un point de vue technique et fonctionnel, cela rappelle l'un ou plusieurs des nouveaux systèmes obligatoires inclus dans la nouvelle 'Réglementation générale sur la sécurité' (Règlement (UE) 2019/2144 du Parlement européen et du Conseil du 27 novembre 2019, 2024). Il est en effet stipulé que tous les nouveaux véhicules, à partir de juillet 2024, devront être équipés d'un système avertissant le conducteur en cas de somnolence et/ou de distraction. Un nouveau système similaire pourrait, contrairement à l'actuel, intégrer le nombre et le type de IVIS actifs comme l'une des sources d'entrée. En plus de générer un avertissement, ce système pourrait également limiter activement le nombre d'applications IVIS utilisées simultanément, agissant comme une forme de contrôle. L'activation d'un IVIS pendant la conduite pourrait déjà constituer une première restriction.

Même sans un système de régulation centralisé 'au niveau du véhicule', le conducteur devrait pouvoir mieux gérer et répartir les modes utilisés. Cela nécessite une interface IVIS plus simple et accessible, ainsi qu'une ergonomie soigneusement pensée pour faciliter l'utilisation. Les fabricants doivent envisager une gamme plus large d'options pour la communication entre le conducteur et les IVIS, car ce qui fonctionne pour un conducteur moyen peut ne pas convenir à d'autres groupes. Par exemple, certaines personnes auront besoin d'un mode auditif, tandis que d'autres ne pourront pas l'utiliser.

Le développement ergonomique des IVIS doit être guidé par la science et se baser sur les principes théoriques mentionnés dans ce rapport. Cela signifie, par exemple, que le mode de communication préféré avec les IVIS ne peut pas être uniquement visuel. En effet, une grande partie de notre attention visuelle est déjà consacrée à la conduite, et il est donc essentiel d'éviter une surcharge de ce canal. Deuxièmement, si les IVIS nécessitent une communication visuelle avec le conducteur, l'interface doit être conçue de manière à ce que l'attention visuelle (le regard) puisse rester le plus près possible de la route (dans ou très proche de la direction souhaitée, c'est-à-dire la route). Troisièmement, pour éviter autant que possible la surcharge des canaux de traitement de l'information, surtout lorsqu'un canal est déjà réduit en fonctionnement à cause d'une maladie ou d'une condition, il faut éviter toute surcharge supplémentaire. Il est donc crucial de pouvoir choisir et adapter ces canaux d'information individuellement en fonction des capacités et des souhaits de chaque utilisateur. En effet, l'industrie automobile et technologique doit viser une société inclusive. Cela signifie notamment que le 'conducteur moyen en bonne santé' ne peut pas être le seul groupe de référence. Certains groupes cibles peuvent avoir des exigences et des attentes opposées. Un exemple de cela est l'utilisation d'écrans plus grands. Un écran plus large peut être bénéfique pour les personnes ayant une légère déficience visuelle en termes d'acuité, tandis que pour celles ayant une limitation du champ visuel, cela pourrait avoir l'effet inverse. Quant aux conducteurs sans problème de vision, ils pourraient préférer un écran plus grand car il permet d'afficher plus d'informations qu'un plus petit. La personne ayant une légère déficience visuelle en termes d'acuité

préférer également un écran plus grand, non pas pour la quantité d'informations affichées, mais parce que celles-ci seront présentées de manière plus grande et plus claire. Toutefois, il existe une incompatibilité technique entre la possibilité d'afficher plus d'informations et d'utiliser des lettres et des symboles plus grands. Pour les personnes légèrement déficientes visuellement, d'autres modes de communication devraient idéalement être prévus. C'est pourquoi il est recommandé de donner une priorité plus élevée à l'évaluation des utilisateurs autres que le 'conducteur moyen' lors des futures évaluations de conception. Les systèmes facilement utilisables par des conducteurs ayant une légère déficience fonctionnelle seront également utilisables pour le 'conducteur moyen' ; l'inverse n'est pas toujours vrai.

En lien avec ce qui précède, étant donné que le degré de charge induit par un IVIS varie d'une personne à l'autre, des recommandations peuvent aussi être formulées en ce qui concerne l'utilisateur. Les individus et les groupes d'individus diffèrent en termes de 'sensibilité' aux effets distrayeurs. Cette sensibilité peut avoir des causes diverses selon les groupes d'utilisateurs. Pour les jeunes, il pourrait être utile d'intervenir sur leur attitude et leur propension à effectuer des activités supplémentaires pendant la conduite, grâce à des campagnes de sensibilisation spécifiques. La 'vulnérabilité' d'autres groupes se situe sur d'autres aspects. Pour les personnes ayant une déficience de l'attention, une forme différente de sensibilisation pourrait être envisagée. Après l'apparition d'une déficience fonctionnelle, la plupart de ces personnes subissent une évaluation de leur aptitude à conduire avant de pouvoir reprendre la route en tant que conducteur. Lors de la délivrance éventuelle de l'attestation de conduite, l'impact négatif des IVIS 'exigeant une attention supplémentaire' pourrait être discuté, et faire l'objet d'une décision. Ces points pourraient également être abordés dans le cadre du processus de traitement clinique. Cela suppose une connaissance générale et largement partagée de l'impact des IVIS sur le comportement de conduite, de la part des experts en aptitude à conduire et des professionnels cliniques concernés. Par extension, cette sensibilisation devrait être présente au niveau de la population générale, afin de limiter les effets négatifs d'une homéostasie du risque. Le message pourrait être que l'utilisation des IVIS n'est pas seulement dangereuse dans des situations de conduite difficiles, mais qu'elle peut également l'être dans des situations apparemment sûres, qui peuvent changer de manière inattendue. Il serait donc recommandé de limiter l'usage des IVIS dans toutes les conditions de conduite, même lorsque celles-ci semblent sans danger. De plus, il convient également de rappeler les effets distrayeurs des sources non technologiques, tels que les événements à l'intérieur et autour de la voiture (comme les enfants sur la banquette arrière ou les publicités), ainsi que l'état physique et émotionnel personnel.

D'une part, il est essentiel de diversifier la communication. Ce n'est qu'en tenant compte des différences entre les groupes cibles que l'on peut les atteindre de manière optimale. Mais il est également important de s'assurer que tous les groupes cibles soient touchés, sans se concentrer exclusivement sur un seul d'entre eux. Cela découle du fait que la circulation est un 'écosystème', et qu'une 'influence systémique' se manifeste rarement en changeant un seul élément. L'effort de communication doit donc être global : les conducteurs doivent éviter de provoquer des accidents 'liés à la distraction' et ne pas en être les victimes non plus. Il est donc nécessaire de diriger la communication vers tous les usagers de la route.

Une autre manière de sensibiliser consiste à faire expérimenter directement à l'utilisateur l'impact de l'utilisation des IVIS à un moment donné. C'est déjà le cas pour les systèmes de navigation. Étant donné que l'utilisation du système de navigation fait désormais partie de l'examen de conduite en Flandre, son utilisation est également intégrée à la formation à la conduite. Cependant, on ne sait pas dans quelle mesure cet usage est un 'bon usage', et si les formateurs eux-mêmes sont suffisamment informés des effets potentiellement négatifs. Par conséquent, la sensibilisation des formateurs (professionnels et non professionnels) fait également partie des recommandations. Pour la même raison, l'obligation d'utiliser le système de navigation durant l'examen de conduite devrait être réévaluée ou réorganisée. Cette obligation empêche le candidat conducteur de s'auto-réguler, ce qui peut désavantager les personnes avec une légère diminution de l'attention, un désavantage qu'elles pourraient éviter en s'auto-régulant. Si les politiques jugent cependant que cette forme de distraction est 'nécessaire et inévitable', alors les critères d'aptitude à conduire en ce qui concerne la 'résistance à la distraction' devront être ajustés. L'évaluation pratique de conduite devrait alors inclure l'utilisation des IVIS, et les valeurs de référence des tests neuropsychologiques (si disponibles) devraient être redéfinies.

En plus des nouveaux conducteurs, les conducteurs expérimentés pourraient aussi bénéficier d'une sensibilisation accrue. Une telle 'mise à jour des connaissances et compétences' s'inscrirait parfaitement dans le cadre de l'"apprentissage tout au long de la vie", qui devrait concerner tous les conducteurs. Cette formation pourrait être organisée lors du renouvellement administratif de la validité du permis de conduire. Suivre une

telle formation tous les 10 ans semble tout à fait justifié. Réussir cette formation pourrait également rapporter des 'points' dans un système de permis de conduire à points.

En plus de l'accent mis sur le véhicule et le conducteur, des recommandations peuvent également être formulées en ce qui concerne l'infrastructure. Afin de réduire la 'charge visuelle' des conducteurs, il serait pertinent d'optimiser les sources visuelles sur notre réseau routier, par exemple en limitant le nombre de panneaux de signalisation et de publicité, surtout dans les endroits déjà 'visuellement exigeants'.

En complément des points susmentionnés concernant la technique, l'évaluation et le développement, ainsi que la formation, nous formulons enfin des recommandations relatives au contrôle. Les articles 8.3 et 8.4 du code de la route réglementent l'utilisation des IVIS en fonction de leur impact négatif sur la conduite, et lorsqu'ils ne sont pas placés dans un 'support adapté'. Pour augmenter la probabilité d'être pris tout en réduisant la charge liée au contrôle, nous proposons d'implémenter l'utilisation de caméras avancées. De plus, une éventuelle modification de l'article 8.4 pourrait tenir compte du fait que l'impact de l'utilisation de systèmes IVIS était le plus faible lorsqu'ils étaient utilisés via l'écran du véhicule et avec les restrictions imposées. Le fait de placer l'IVIS dans un support adapté ne permet pas d'éliminer entièrement ses effets indésirables.

*IVIS: tentation et incitation à la distraction*

## Références

- Ballard, C., O'Brien, J., Gray, A., Cormack, F., Ayre, G., Rowan, E., Thompson, P., Bucks, R., McKeith, I., & Walker, M. (2001). Attention and fluctuating attention in patients with dementia with Lewy bodies and Alzheimer disease. *Archives of neurology*, *58*(6), 977-982.
- Bärgman, J. (2016). *Methods for analysis of naturalistic driving data in driver behavior research*. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).
- Barr, G. C., Kane, K. E., Barraco, R. D., Rayburg, T., Demers, L., Kraus, C. K., Greenberg, M. R., Rupp, V. A., Hamilton, K. M., & Kane, B. G. (2015). Gender Differences in Perceptions and Self-reported Driving Behaviors Among Teenagers. *The Journal of Emergency Medicine*, *48*(3), 366-370.
- Barry, T. J., Vervliet, B., & Hermans, D. (2015). An integrative review of attention biases and their contribution to treatment for anxiety disorders. *Frontiers in Psychology*, *6*.
- Batabyal, D. (2021). *Investigating the Impact of In-Vehicle Distraction on Driving Performance during Safety Critical Events Using Visual Tracking in a Context-Aware Driving Simulator Environment—* [Technische Universität München].
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1).
- Baumeister, R. F., & Vohs, K. D. (Ed.). (2004). *The cognitive neuroscience of self-regulation. Research, Theory, and Applications*. The Guilford Press.
- Belgium—ESRA3 Country Fact Sheet* (Version 2; ESRA3 survey. (2024). Vias institute.
- Boets, S. (2023). *Briefing 'Afleiding in het verkeer'*. Vias institute. [www.bias.be/briefing](http://www.bias.be/briefing)
- Boets, S., & Teuchies, M. (2019). *Afleiding achter het stuur: De impact van infotainment. Een verkennende literatuurstudie*. Vias institute, Kenniscentrum Verkeersveiligheid.
- Brown, S., Vanlaar, W. G. M., & Robertson, R. D. (2024). *Distraction-Related Fatal Collisions in Canada | 2000-2021 [Fact sheet]*. Traffic Injury Research Foundation.
- Chiaravalloti, N. D., & DeLuca, J. (2008). Cognitive impairment in multiple sclerosis. *The Lancet Neurology*, *7*(12), 1139-1151.
- Choudhary, P., & Velaga, N. R. (2018). Effects of texting on accident risk during a sudden hazardous event: Analysis of predetection and postdetection phases. *Traffic Injury Prevention*, *19*(8), 806-811.

- Commodari, E., & Guarnera, M. (2008). Attention and aging. *Aging Clinical and Experimental Research*, 20(6), 578-584.
- Cooper, J. M., Wheatley, C. L., McCarty, M. M., Motzkus, C. J., Lopes, C. L., Erickson, G. G., Baucom, B. R. W., Horrey, W. J., & Strayer, D. L. (2020). Age-Related Differences in the Cognitive, Visual, and Temporal Demands of In-Vehicle Information Systems. *Frontiers in Psychology*, 11, 1154.
- Dehzangi, O., Rajendra, V., & Taherisadr, M. (2018). Wearable Driver Distraction Identification On-The-Road via Continuous Decomposition of Galvanic Skin Responses. *Sensors*, 18(2), Article 2.
- Dermais, M. (2024, mei 6). *Expert sessie: De invloed van ADAS op bestuurders met een cognitieve aandoening* [Persoonlijke communicatie].
- Dermais, M. (2024, juni 18). *Expert sessie: De invloed van ADAS op bestuurders met een visuele aandoening* [Persoonlijke communicatie].
- 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(10), 2636-2641.
- Duckworth, M. P., Iezzi, A., Adams, H. E., & Hale, D. (1997). Information processing in chronic pain disorder: A preliminary analysis. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 19(3), 239-255.
- ESRA3 dashboard*. (2024). <https://www.esrnanet.eu/en/dashboard/>
- European Commission. (2023). *Road safety thematic report – Distraction*. European Road Safety Observatory.
- Finucane, A. M. (2011). The effect of fear and anger on selective attention. *Emotion*, 11(4), 970-974.
- Fone, K. C., & Nutt, D. J. (2005). Stimulants: Use and abuse in the treatment of attention deficit hyperactivity disorder. *Current Opinion in Pharmacology*, 5(1), 87-93.
- Fox, J., & Weisberg, S. (2018). *An R Companion to Applied Regression*. SAGE Publications.
- Fulda, S., & Schulz, H. (2001). Cognitive dysfunction in sleep disorders. *Sleep medicine reviews*, 5(6), 423-445.
- Fuller, R. (2000). The task-capability interface model of the driving process. *Recherche - Transports - Sécurité*, 66, 47-57.

- Giang, W. C. W., Zheng, H., Gibson, B., Patel, B., Ramirez-Zamora, A., Winter, S., Jeghers, M., Li, Y., & Classen, S. (2023). Does in-vehicle automation help individuals with Parkinson's disease? A preliminary analysis. *Frontiers in Neurology, 14*, 1225751.
- Gordon, C. (2007). Driver distraction related crashes in New Zealand. *Distracted Driving, 5*, 299-328.
- Graham, J. (1998). Target Risk: Dealing with the Danger of Death, Disease and Damage in Everyday Decisions. *Injury Prevention, 4*(2), 162-163.
- Gwyther, H., & Holland, C. (2012). The effect of age, gender and attitudes on self-regulation in driving. *Accident Analysis & Prevention, 45*, 19-28.
- Heatherston, T. F., & Wagner, D. D. (2011). Cognitive neuroscience of self-regulation failure. *Trends in Cognitive Sciences, 15*(3), 132-139.
- Hudson, A. N., Van Dongen, H. P. A., & Honn, K. A. (2020). Sleep deprivation, vigilant attention, and brain function: A review. *Neuropsychopharmacology, 45*(1), 21-30.
- Kaye, S.-A., Lewis, I., & Freeman, J. (2018). Comparison of self-report and objective measures of driving behavior and road safety: A systematic review. *Journal of Safety Research, 65*, 141-151.
- Keller, A. S., Leikauf, J. E., Holt-Gosselin, B., Staveland, B. R., & Williams, L. M. (2019). Paying attention to attention in depression. *Translational Psychiatry, 9*(1), 1-12.
- Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation, 15*(3), 235-245.
- Liang, O. S., & Yang, C. C. (2022). How are different sources of distraction associated with at-fault crashes among drivers of different age gender groups? *Accident Analysis & Prevention, 165*, 106505.
- Luck, S. J., & Gold, J. M. (2008). The construct of attention in schizophrenia. *Biological psychiatry, 64*(1), 34-39.
- Lyon, C., Vanlaar, W. G. M., & Robertson, R. D. (2020). *Distracted Driving Attitudes and Practices, 2004-2019. Results from TIRF's 2019 Road Safety Monitor*. Traffic Injury Research Foundation.
- Maasalo, I., Lehtonen, E., & Summala, H. (2019). Drivers with child passengers: Distracted but cautious? *Accident Analysis & Prevention, 131*, 25-32.
- Marois, R., & Ivanoff, J. (2005). Capacity limits of information processing in the brain. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(6), 296-305.
- Martin, E. A., & Kerns, J. G. (2011). The influence of positive mood on different aspects of cognitive control. *Cognition and Emotion, 25*(2), 265-279.

- Mccartt, A. T., Hellinga, L. A., & Bratiman, K. A. (2006). Cell Phones and Driving: Review of Research. *Traffic Injury Prevention, 7*(2), 89-106.
- Michon, J. A. (1985). A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do? In L. Evans & R. C. Schwing (Red.), *Human Behavior and Traffic Safety* (pp. 485-524). Springer US.
- Mullen, N., Charlton, J., Devlin, A., & Bedard, M. (2011). *Simulator Validity: Behaviors Observed on the Simulator and on the Road*. <https://trid.trb.org/View/1114738>
- NHTSA. (2024). *Distracted Driving in 2022* (Research Note DOT HS 813 559). National Center for Statistics and Analysis.
- Nunes, L., & Recarte, M. A. (2002). Cognitive demands of hands-free-phone conversation while driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 5*(2), 133-144.
- OpenAI. (2024). *ChatGPT (GPT-4)* [Large language model]. [chat.openai.com/chat](https://chat.openai.com/chat)
- Papantoniou, P., Papadimitriou, E., & Yannis, G. (2017). Review of driving performance parameters critical for distracted driving research. *Transportation Research Procedia, 25*, 1796-1805.
- Park, N. W., & Ingles, J. L. (2001). Effectiveness of attention rehabilitation after an acquired brain injury: A meta-analysis. *Neuropsychology, 15*(2), 199.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin, 116*(2), 220-244.
- Peckham, A. D., McHugh, R. K., & Otto, M. W. (2010). A meta-analysis of the magnitude of biased attention in depression. *Depression and Anxiety, 27*(12), 1135-1142.
- Qi, Y., Vennu, R., & Pokhrel, R. (2020). Distracted Driving: A Literature Review. *FHWA-ICT-20-004*.
- Regan, M. A., Hallett, C., & Gordon, C. P. (2011). Driver distraction and driver inattention: Definition, relationship and taxonomy. *Accident Analysis & Prevention, 43*(5), 1771-1781.
- Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council of 27 November 2019 (2024).
- Robertson, R. D., Bowman, K., & Brown, S. (2017). *Distracted Driving: A National Action Plan*. Traffic Injury Research Foundation; and Drop It And Drive®.
- Rueda, M. R., Pozuelos, J. P., Cómbita, L. M., Rueda, M. R., Pozuelos, J. P., & Cómbita, L. M. (2015). Cognitive Neuroscience of Attention. From brain mechanisms to individual differences in efficiency. *AIMS Neuroscience, 2*(4), 183-202.

- Sahu, P., Thippeswamy, H., & Chaturvedi, S. K. (2022). Chapter Seventeen—Neuropsychiatric manifestations in vitamin B12 deficiency. In G. Litwack (Red.), *Vitamins and Hormones* (Vol. 119, pp. 457-470). Academic Press.
- Scerra, V. E., & Brill, J. C. (2012). Effect of Task Modality on Dual-Task Performance, Response Time, and Ratings of Operator Workload. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 56*(1), 1456-1460.
- Shbeeb, L. (2023). Assessing the Influence of Roadside Advertising on Traffic Distraction and Its Interplay with Inside Vehicle Distractions: A Cross-Cultural Study in Jordan and Kuwait. *Journal of Transportation Technologies, 13*(4), Article 4.
- Shinar, D. (2017). *Traffic safety and human behavior*. Emerald Publishing Limited.
- Singh, H., & Kathuria, A. (2021). Analyzing driver behavior under naturalistic driving conditions: A review. *Accident Analysis & Prevention, 150*, 105908.
- Sivak, M. (1996). The information that drivers use: Is it indeed 90% visual? *Perception, 25*(9), 1081-1089.
- Strayer, D. L., Cooper, J. M., McCarty, M. M., Getty, D. J., Wheatley, C. L., Motzkus, C. J., Mackenzie, K. L., Loveless, S. M., Esplin, J., Goethe, R. M., & Biondi, F. (2018). *Visual and Cognitive Demands of Using Apple's CarPlay, Google's Android Auto and Five Different OEM Infotainment Systems* (p. 82). AAA Foundation for Traffic Safety.
- Strayer, D. L., Watson, J. M., & Drews, F. A. (2011). Cognitive Distraction While Multitasking in the Automobile. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 54, pp. 29-58). Elsevier.
- Suedfeld, P., & Tetlock, P. E. (2001). Individual Differences in Information Processing. In *Blackwell Handbook of Social Psychology: Intraindividual Processes* (pp. 284-304). John Wiley & Sons, Ltd.
- Theofilatos, A., Ziakopoulos, A., Papadimitriou, E., & Yannis, G. (2018). How many crashes are caused by driver interaction with passengers? A meta-analysis approach. *Journal of Safety Research, 65*, 11-20.
- Thompson, J. C., Poliakoff, E., Sollom, A. C., Howard, E., Craufurd, D., & Snowden, J. S. (2010). Automaticity and attention in Huntington's disease: When two hands are not better than one. *Neuropsychologia, 48*(1), 171-178.
- Tucha, L., Fuermaier, A. B. M., Koerts, J., Buggenthin, R., Aschenbrenner, S., Weisbrod, M., Thome, J., Lange, K. W., & Tucha, O. (2017). Sustained attention in adult ADHD: Time-on-task effects of various measures of attention. *Journal of Neural Transmission, 124*(S1), 39-53.

- van Boxtel, G., Jefferis, G., Laboissière, R., & Wilhelm, D. (2022). *gsignal: Signal Processing* (v0.3-5) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/gsignal/index.html>
- Vandael Schreurs, K., Dasabe, E., & Gaillet, J.-F. (2020). *GSM-detectie door intelligent camerasysteem – Proefproject* [Internal Report]. Vias institute, Departement Innovatie.
- Verster, J. C., & Roth, T. (2012). Predicting psychopharmacological drug effects on actual driving performance (SDLP) from psychometric tests measuring driving-related skills. *Psychopharmacology*, *220*(2), 293-301.
- Wandtner, B., Schumacher, M., & Schmidt, E. A. (2016). The role of self-regulation in the context of driver distraction: A simulator study. *Traffic Injury Prevention*, *17*(5), 472-479.
- Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In *Multiple Task Performance*. CRC Press.
- Wickham, H. (with Sievert, C.). (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis* (Second edition). Springer.
- Zhang, X. D., Zhang, T., & Dong, X. (2021). *RespirAnalyzer: Analysis Functions of Respiratory Data* (p. 1.0.2) [Dataset]. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.RespirAnalyzer>

# Annexe 1 – Textes accompagnant la présentation Teams

Video et audio (uniquement en néerlandais)

## Mozzarella

Dag allemaal, iedereen lijkt aanwezig te zijn dus ik stel voor dat we erin vliegen. Vandaag gaan we het hebben over mozzarella, de timing is wat krap dus hou vragen voor na de presentatie alsjeblief. Mozzarella is een Zuid-Italiaanse kaas die traditioneel wordt gemaakt van de melk van Italiaanse buffels. Verse mozzarella is meestal wit, maar als hij gekruid is, wordt hij lichtgeel, afhankelijk van het dieet van het dier. Vanwege het hoge vochtgehalte wordt mozzarella traditioneel geserveerd de dag nadat hij is gemaakt, maar in pekel is hij tot een week houdbaar, en langer als hij in vacuümverpakkingen wordt verkocht. Mozzarella wordt gebruikt voor de meeste soorten pizza en diverse pastagerechten of geserveerd met gesneden tomaten en basilicum in een salade. Door de populariteit van pizza- en pastagerechten is de vraag naar mozzarella veel groter geworden dan wat de traditionele regio kan produceren. Als gevolg daarvan wordt mozzarella nu van koemelk geproduceerd in veel Europese landen (vooral Nederland), in Nieuw-Zeeland en in de VS. In de Europese Unie is het merk gewaarborgd, wat betekent dat de daar verkochte mozzarella volgens het traditionele recept moet zijn geproduceerd. Dit geldt niet voor andere landen.

## Tropische oceaan

Welkom iedereen, volgens mij zijn alle genodigden aanwezig, dus laten we er meteen in duiken. Het onderwerp van vandaag zal de tropische oceaan zijn met koraalriffen als focus. De tropische oceaan bevat weinig voedsel of voedingsstoffen. Net als het leven in een woestijn, is het leven in de tropische oceaan moeilijk voor alle organismen. Toch zijn koraalriffen kleurrijke oases vol leven midden in deze zeeoestijn. Hoe kunnen miljoenen soorten koraalriffen zich daar thuis voelen? Alle organismen die er leven spelen hun rol in het recyclen van de kleine hoeveelheden voedsel en voedingsstoffen die beschikbaar zijn. Omdat er nooit echt iets wordt verspild, kunnen koraalriffen floreren in een mariene woestijn waar nauwelijks voedsel is. Hoewel koraalriffen al lang voor de dinosauriërs op deze planeet bestonden, kampen ze vandaag met ernstige problemen. Opwarming van de oceanen kan koralen schaden, waardoor koraalriffen verloren gaan. Koralen in de noordelijke Rode Zee, aangeduid op het kaartje op de slide, zijn echter zeer goed bestand tegen warme temperaturen. Sommige wetenschappers geloven dat deze riffen in de Rode Zee kunnen overleven, zelfs wanneer elders in de wereld riffen verdwijnen.

## Vesuvius

Hallo allemaal, we zitten wat krap qua timing dus ik stel voor dat we meteen beginnen. We zullen het vandaag hebben over de Vesuvius en het bekende turbulente verleden van deze regio. Het gebied rond de Vesuvius kreeg een eerste waarschuwing dat de berg misschien zou ontwaken, toen op 5 februari 62 na Christus een zware aardbeving plaatsvond. De beving had een kracht van 5-6 op de schaal van Richter en verwoestte de omliggende steden. Zelfs delen van Napels, 32 kilometer verderop, werden beschadigd. In Pompeji ontsnapten weinig gebouwen aan de schade. Tempels, huizen en delen van de dikke stadsmuren stortten in. Branden verwoestten delen van de stad en zelfs schapen op het omliggende platteland stierven door het vrijkomen van giftige gassen. Het dodental liep waarschijnlijk eerder in de duizenden dan in de honderden. Ook de watervoorziening van de stad werd zwaar getroffen door schade aan aquaducten en ondergrondse leidingen. Toch werd de stad hersteld. Dit werd bemoeilijkt doordat de brug over de Sarno ingestort was. Het herstel ging zo moeilijk dat een deel van de bevolking de stad verliet.

## Audio uniquement (uniquement en néerlandais)

L'erreur auditive est indiquée en gras dans le texte ci-dessous

### Mozzarella

Dag allemaal, iedereen lijkt aanwezig te zijn dus ik stel voor dat we erin vliegen. Vandaag gaan we het hebben over mozzarella, de timing is wat krap dus hou vragen voor na de presentatie alsjeblief. Mozzarella is een Zuid-Italiaanse kaas die traditioneel wordt gemaakt van de melk van Italiaanse buffels. **Verse mozzarella is meestal zwart**, maar als hij gekruid is, wordt hij lichtgeel, afhankelijk van het dieet van het dier. Vanwege het hoge vochtgehalte wordt mozzarella traditioneel geserveerd de dag nadat hij is gemaakt, maar in pekel is hij tot een week houdbaar, en langer als hij in vacuümverpakkingen wordt verkocht. Mozzarella wordt gebruikt voor de meeste soorten pizza en diverse pastagerechten of geserveerd met gesneden tomaten en basilicum in een salade. Door de populariteit van pizza- en pastagerechten is de vraag naar mozzarella veel groter geworden dan wat de traditionele regio kan produceren. Als gevolg daarvan wordt mozzarella nu van koemelk geproduceerd in veel Europese landen (vooral Nederland), in Nieuw-Zeeland en in de VS. In de Europese Unie is het merk gewaarborgd, wat betekent dat de daar verkochte mozzarella volgens het traditionele recept moet zijn geproduceerd. Dit geldt niet voor andere landen.

### Tropische oceaan

Welkom iedereen, volgens mij zijn alle genodigden aanwezig, dus laten we er meteen in duiken. Het onderwerp van vandaag zal de tropische oceaan zijn met koraalriffen als focus. De tropische oceaan bevat weinig voedsel of voedingsstoffen. Net als het leven in een woestijn, is het leven in de tropische oceaan moeilijk voor alle organismen. Toch zijn koraalriffen kleurrijke oases vol leven midden in deze zeeoestijn. Hoe kunnen miljoenen soorten koraalriffen zich daar thuis voelen? Alle organismen die er leven spelen hun rol in het recyclen van de kleine hoeveelheden voedsel en voedingsstoffen die beschikbaar zijn. Omdat er nooit echt iets wordt verspild, kunnen koraalriffen floreren in een mariene woestijn waar nauwelijks voedsel is. Hoewel koraalriffen al lang voor de dinosauriërs op deze planeet bestonden, kampen ze vandaag met ernstige problemen. Opwarming van de oceanen kan koralen schaden, waardoor koraalriffen verloren gaan. Koralen in de noordelijke Rode Zee zijn echter zeer goed bestand tegen warme temperaturen. Sommige wetenschappers geloven dat deze riffen in de **Rode Zee, gelegen aan de kust van België**, kunnen overleven, zelfs wanneer elders in de wereld riffen verdwijnen.

### Vesuvius

Hallo allemaal, we zitten wat krap qua timing dus ik stel voor dat we meteen beginnen. We zullen het vandaag hebben over de Vesuvius en het bekende turbulente verleden van deze regio. Het gebied rond de Vesuvius kreeg een eerste waarschuwing dat de berg misschien zou ontwaken, toen op 5 februari 62 na Christus een zware aardbeving plaatsvond. **De beving had een kracht van 5-6 op de schaal van Beaufort** en verwoestte de omliggende steden. Zelfs delen van Napels, 32 kilometer verderop, werden beschadigd. In Pompeji ontsnapten weinig gebouwen aan de schade. Tempels, huizen en delen van de dikke stadsmuren stortten in. Branden verwoestten delen van de stad en zelfs schapen op het omliggende platteland stierven door het vrijkomen van giftige gassen. Het dodental liep waarschijnlijk eerder in de duizenden dan in de honderden. Ook de watervoorziening van de stad werd zwaar getroffen door schade aan aquaducten en ondergrondse leidingen. Toch werd de stad hersteld. Dit werd bemoeilijkt doordat de brug over de Sarno ingestort was. Het herstel ging zo moeilijk dat een deel van de bevolking de stad verliet.

## Annexe 2 – Présentations PowerPoint

### Mozzarella

#### Mozzarella

- Zuid-Italiaanse kaas
- Buffels
- Witte kleur



- Serveren dag na maken
  - Tot een week in pekel
  - Langer in vacuüm

#### Populariteit

##### Pizza



##### Pasta



##### Gesneden tomaten en basilicum



- Meer vraag → Nu ook van koemelk:
  - Nederland
  - Nieuw-Zeeland
  - VS
- Merk gewaarborgd in EU → Traditionele recept

## Tropische oceaan

### Tropische oceaan

- Weinig voedsel
- Net als leven in de woestijn
- Koraalriffen = kleurrijke oases
- Organismen recycleren voedsel
- Niets wordt verspild



### Uitdagingen

- Bestonden lang voor de dinosaurïërs
- Opwarming van de oceanen
- Noordelijke Rode Zee: bestand tegen warme temperatuur
  - Kunnen overleven



## Vesuvius

### Vesuvius



- 5 februari 62 N. Chr.
- Aardbeving 5-6 Richter
- Pompeii geraakt

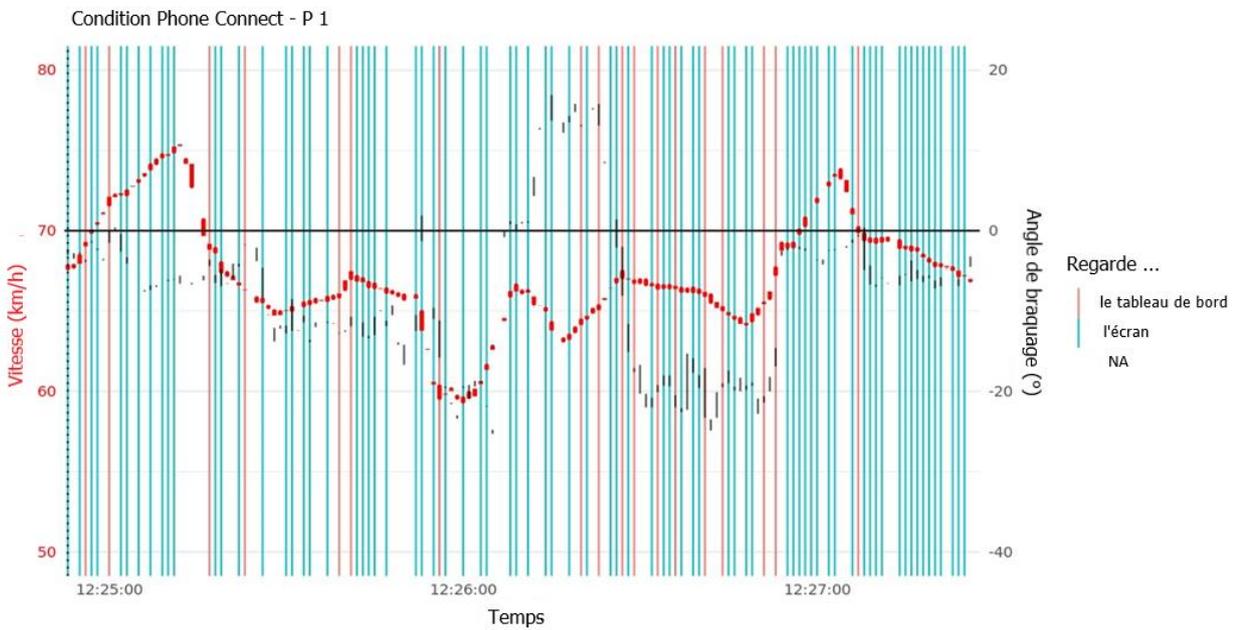
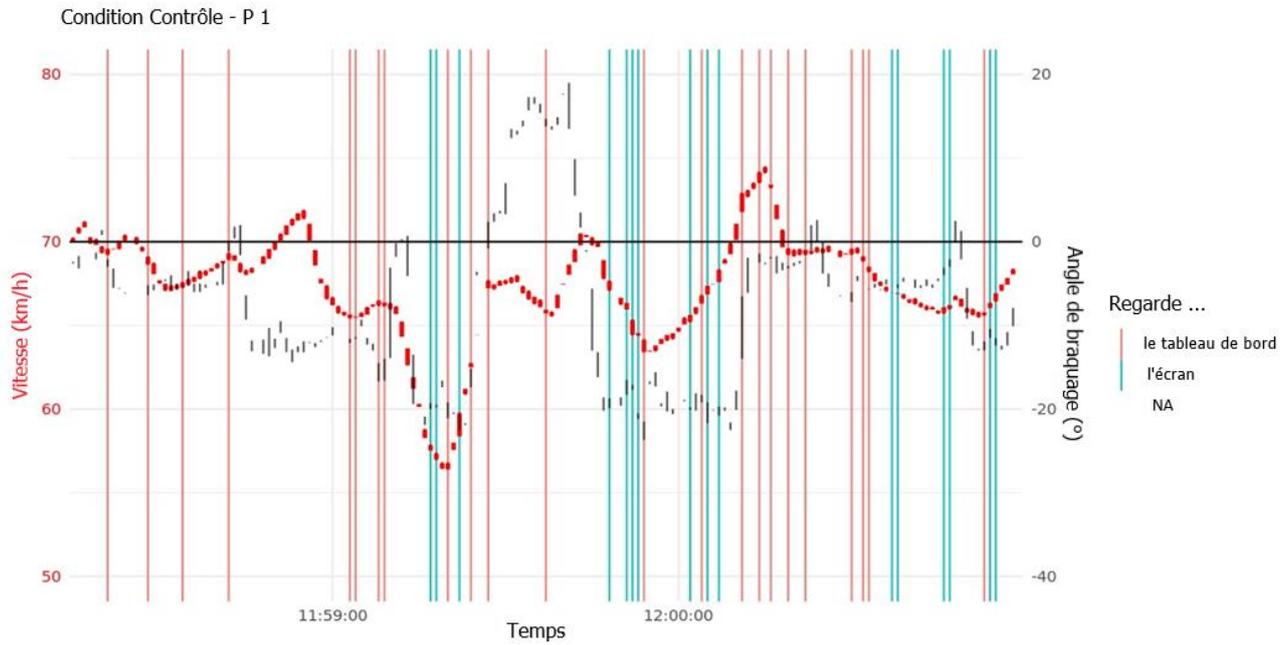
### Gevolgen



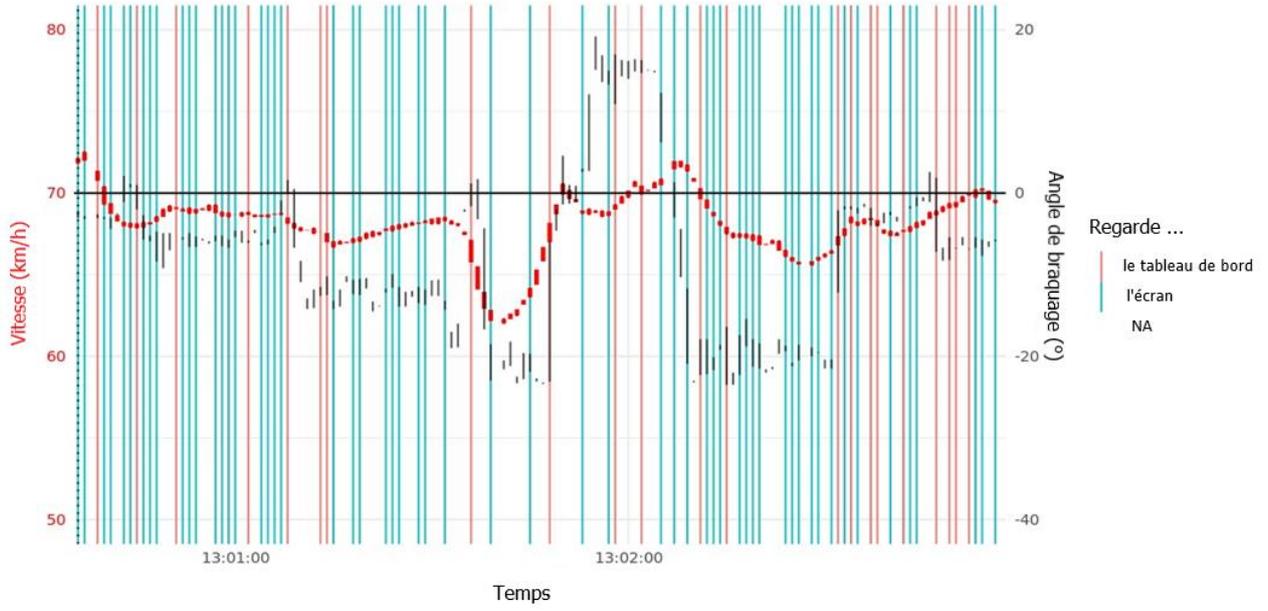
- Schapen op het platteland vergiftigd
- Duizenden doden
- Schade aan aquaducten en ondergrondse leidingen
- Herstel bemoeilijkt

# Annexe 3 – Mouvements oculaires Présentation Teams

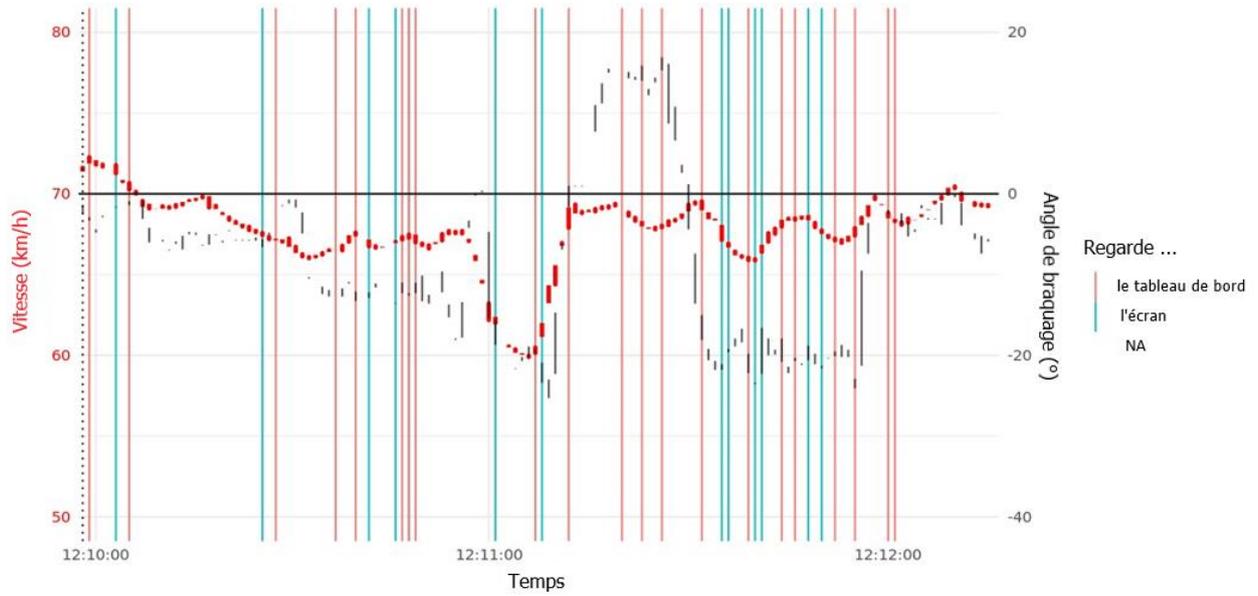
Sujet 1



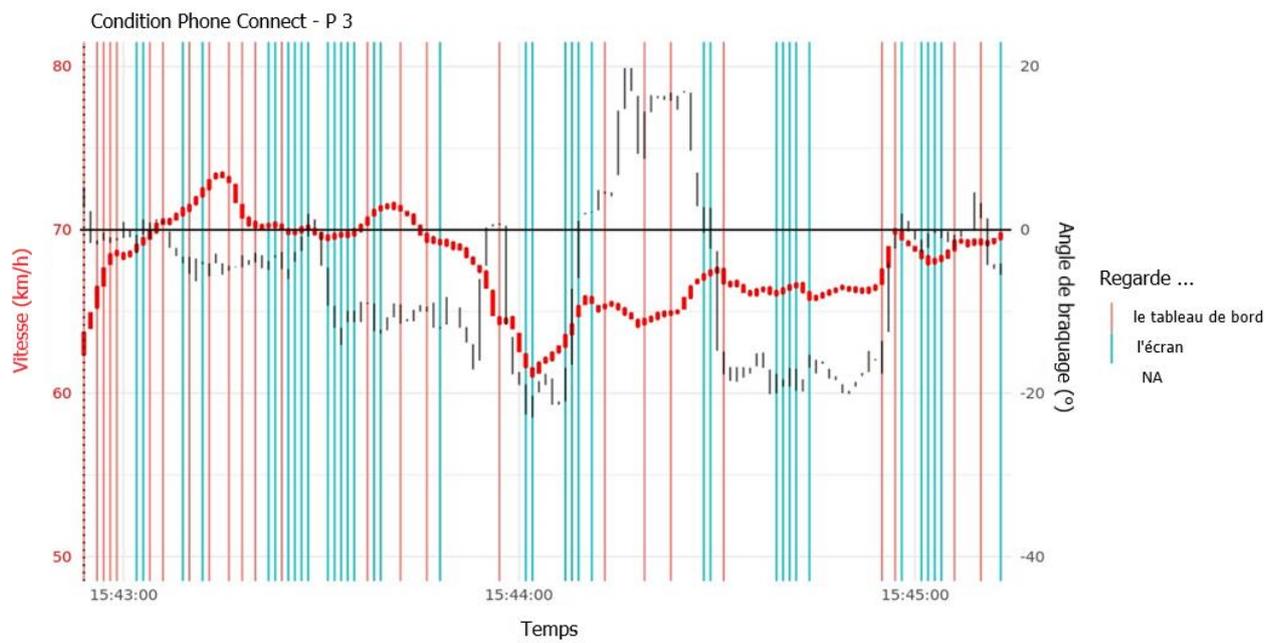
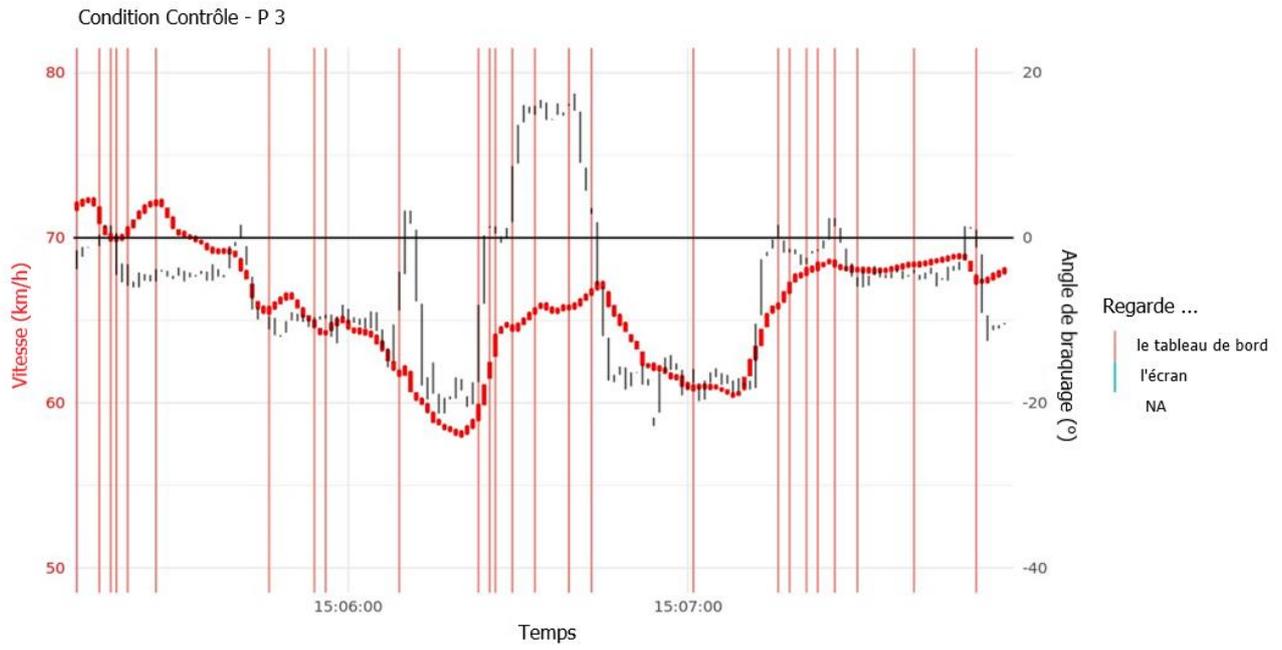
Condition Standalone Phone - P 1



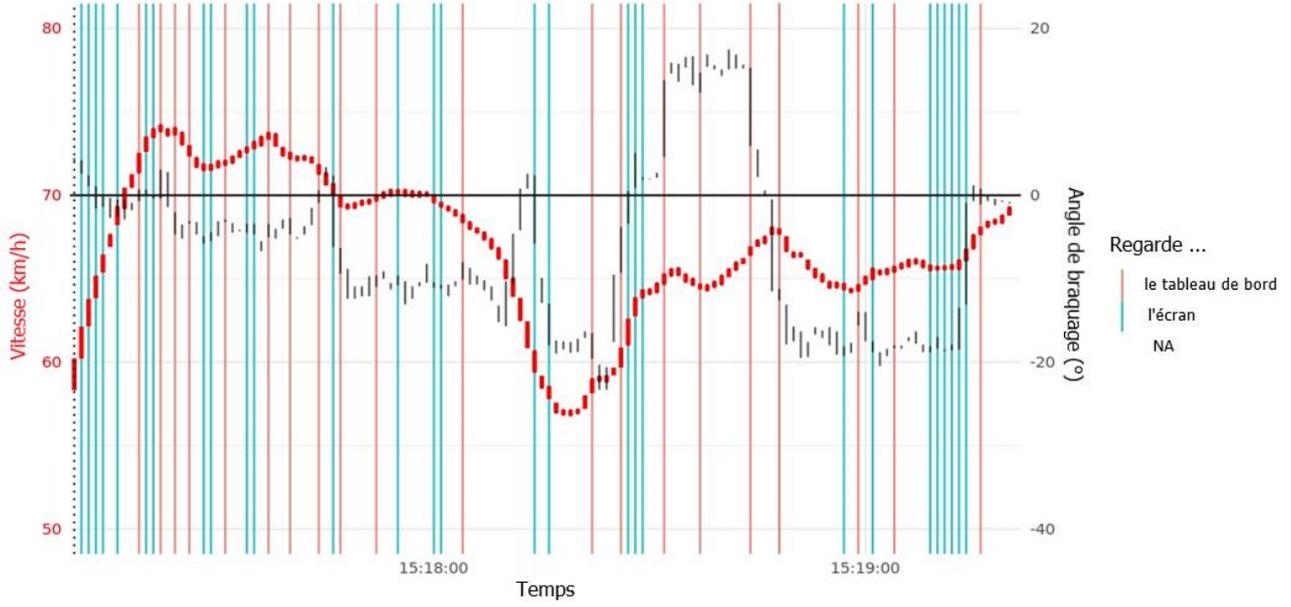
Condition Car Connect - P 1



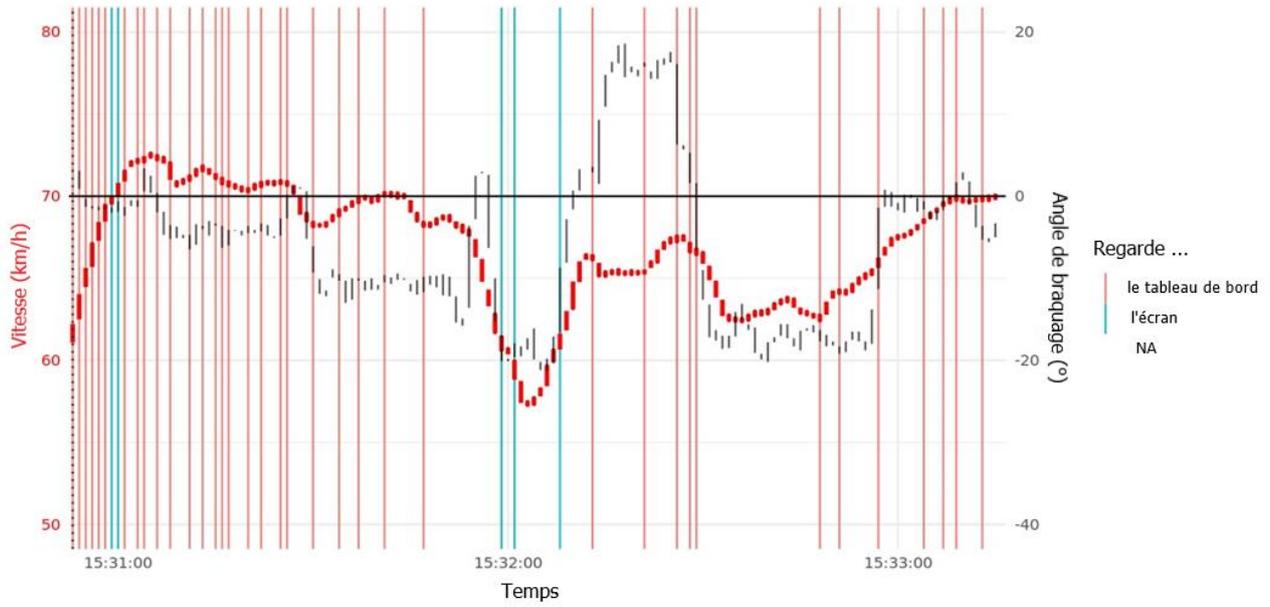
### Sujet 3



Condition Standalone Phone - P 3

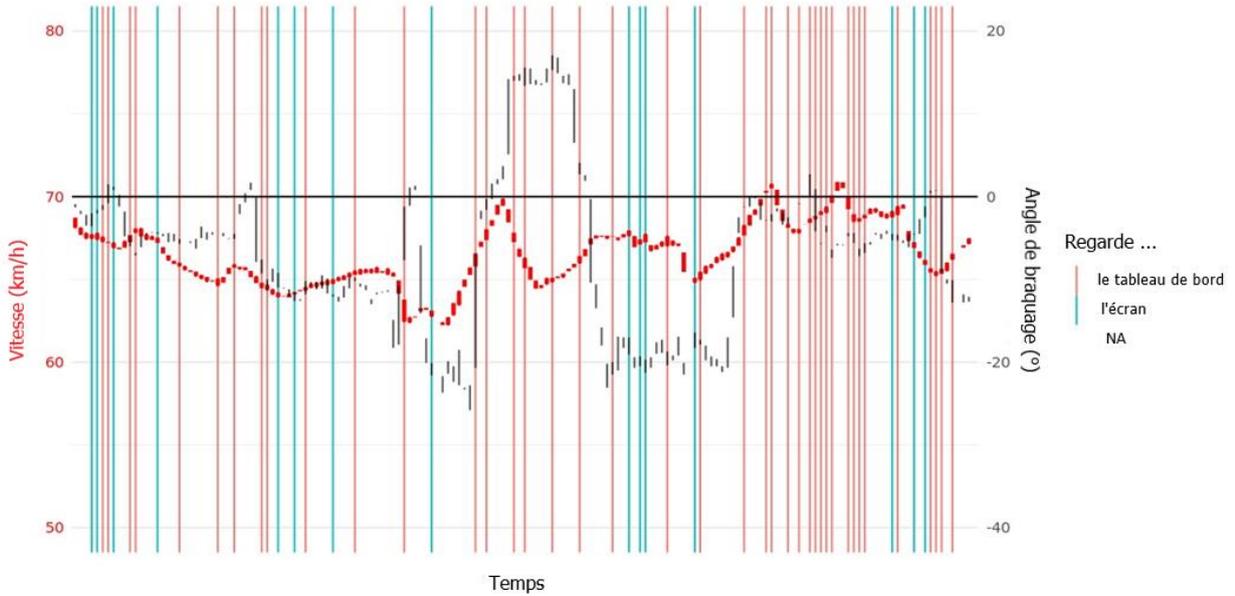


Condition Car Connect - P 3

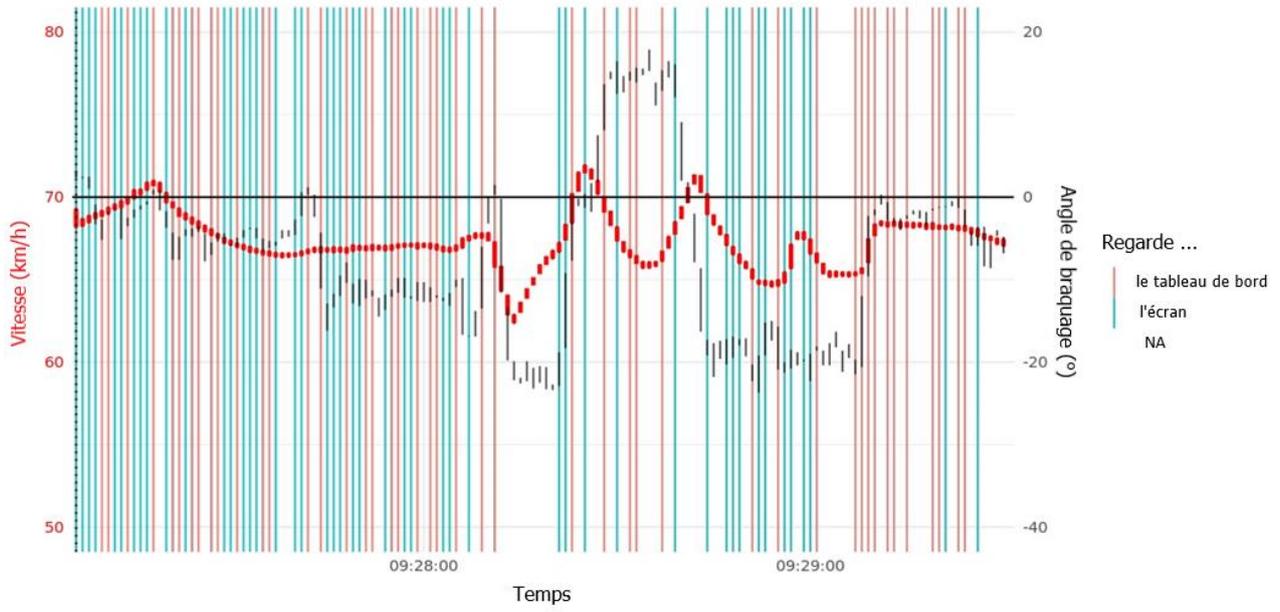


Sujet 12

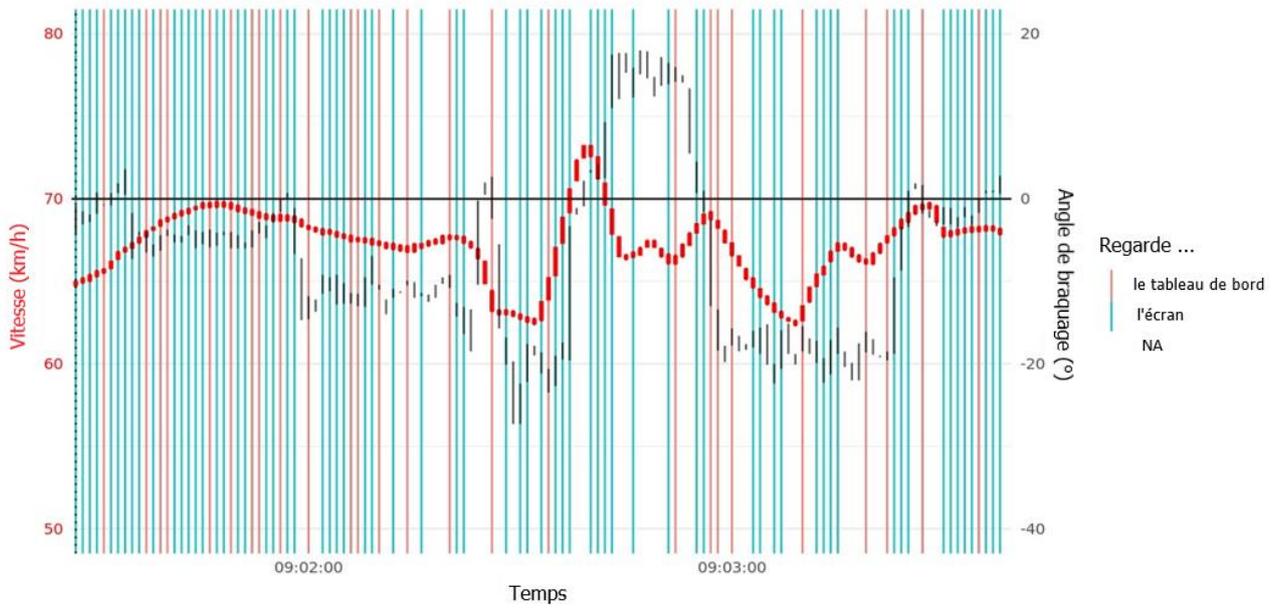
Condition Contrôle - P 12



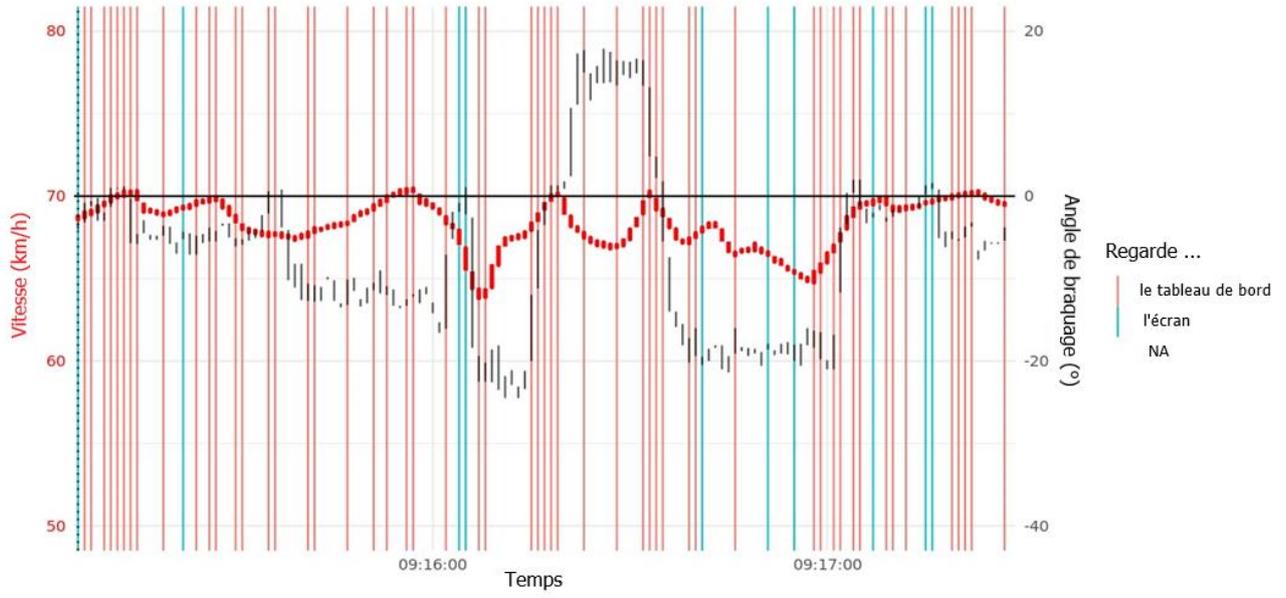
Condition Phone Connect - P 12



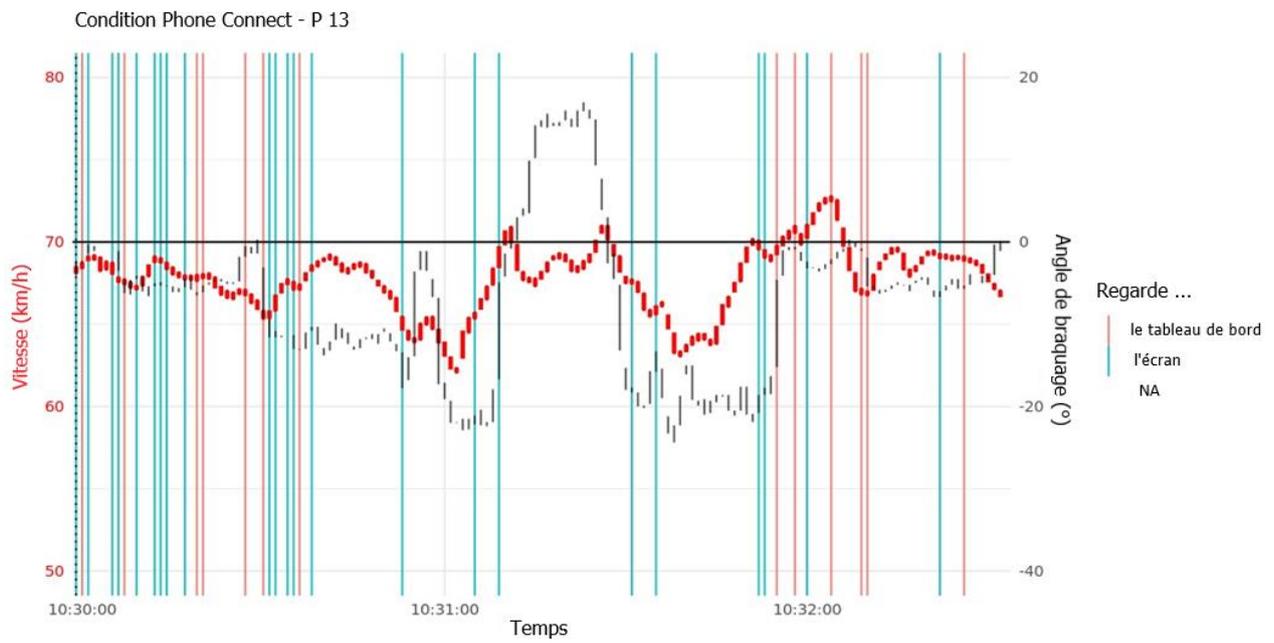
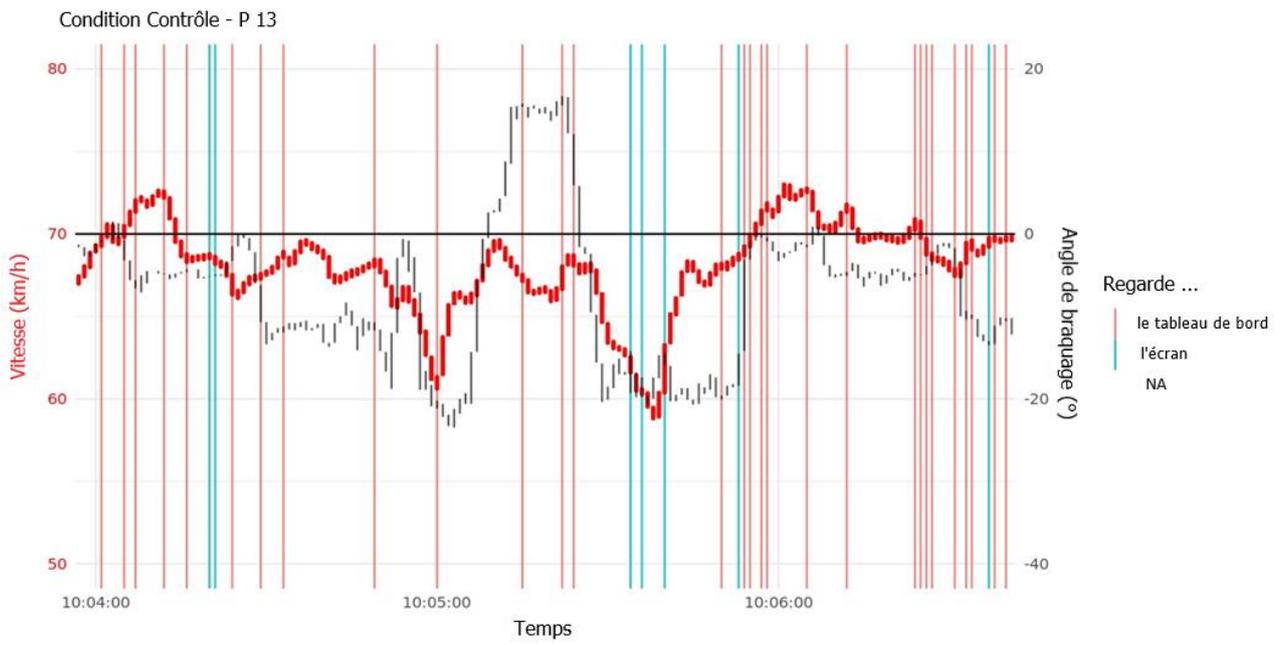
Condition Standalone Phone - P 12

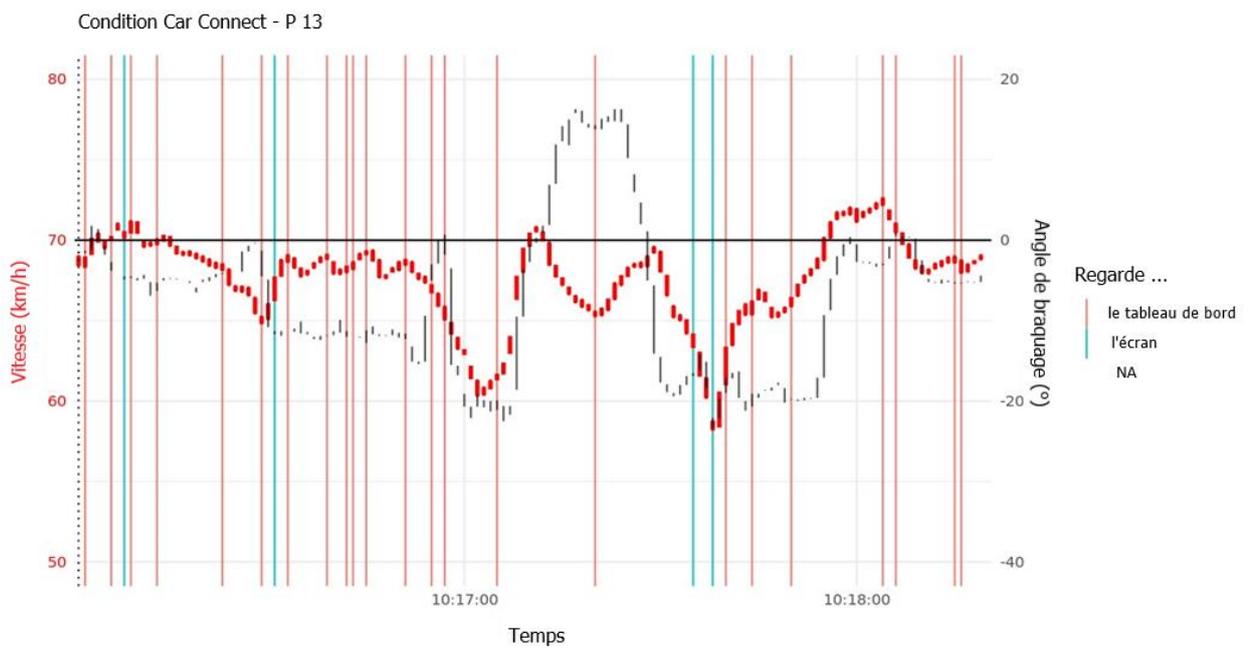
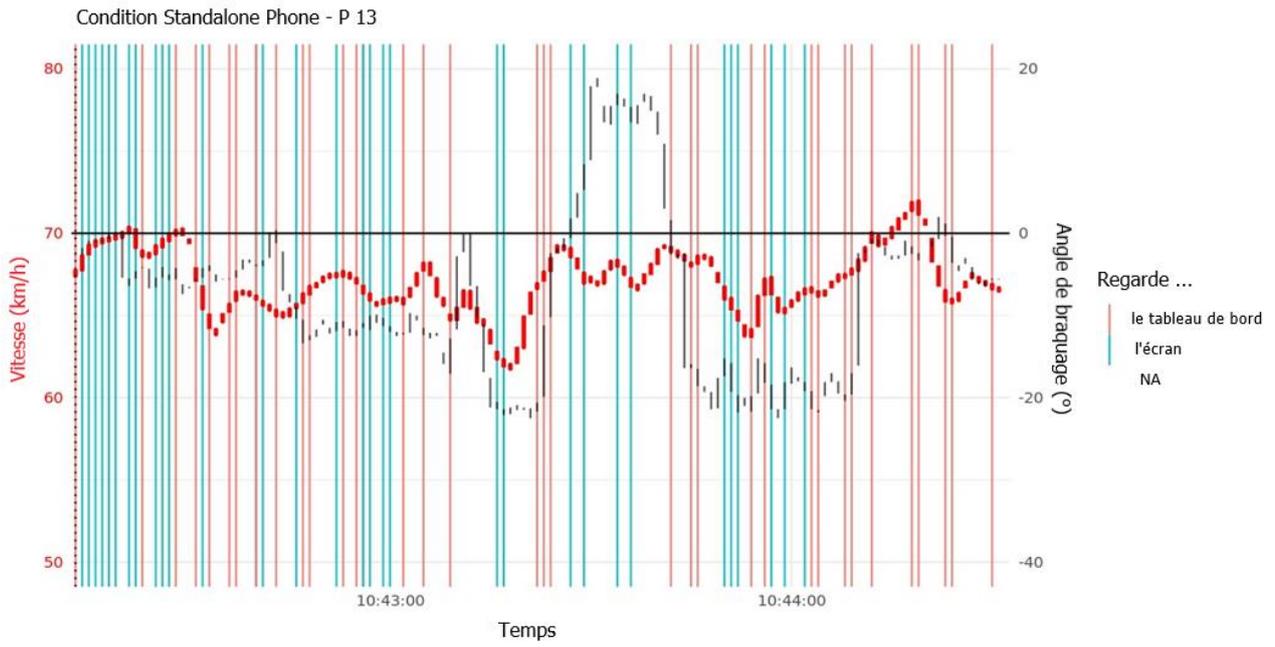


Condition Car Connect - P 12



# Sujet 13







**Institut Vias**

Chaussée de Haecht 1405  
1130 Bruxelles

+32 2 244 15 11

[info@vias.be](mailto:info@vias.be)

[www.vias.be](http://www.vias.be)