

UTILISATION DU SMARTPHONE EN CONDUITE MANUELLE ET AUTOMATISEE

LOT1 : ETUDE DES SCENARIOS D'USAGES ACTUELS DES SMARTPHONES SUR UNE
BASE DE DONNEES « NATURALISTIC DRIVING »—RAPPORT FINAL



Gildas THIOLON
Clément VAL
Jean-Baptiste HAUE
Frédéric SOMMERLAT

TABLE DES MATIERES

Table des matières	2
Glossaire	3
Résumé opérationnel.....	5
1. Présentation de l'étude	7
1.1. Contexte.....	7
1.2. Etudes préalables sur l'usage du smartphone en conduite	8
1.3. Attendus de l'étude.....	10
2. Méthodologies.....	12
2.1. Présentation de la base de données	12
2.2. Détection automatique de l'utilisation du téléphone	15
2.3. Caractérisation du contexte routier.....	28
2.4. Définition de la base « en circulation ».....	35
3. Analyses et résultats	38
3.1. Utilisation mesurée du téléphone.....	38
3.2. Variabilité entre les Conducteur·trice·s.....	40
3.3. Quels sont les facteurs influençant l'utilisation du téléphone ?	46
3.4. Quels sont les scénarios typiques de manipulation du téléphone au volant ?.....	76
3.5. Quels sont les impacts de l'utilisation du téléphone sur la conduite ?	85
Conclusion générale	95
Tables des illustrations.....	97
Table des tableaux	100
Bibliographie	102

- API : *Application Programming Interface*. Ensemble de méthodes permettant l'interface entre deux logiciels.
- CAM : *Class Activation Map*. Carte indiquant les zones discriminantes d'une image ayant permis sa classification.
- CAN : *Controller Area Network*. Bus de communication notamment utilisé pour l'échange de données entre plusieurs organes d'un véhicule.
- CIPV : "*Closest In path Vehicle*". Premier véhicule précédant le véhicule égo dans sa propre voie.
- CNN : "*Convolutional Neural Network*". Type de réseau de neurones artificiels, notamment utilisé en traitement d'image pour la détection d'objets.
- CSP : *Catégorie Socio-Professionnelle*.
- DMS : *Driving Monitoring System*. Système mesurant l'attention et la vigilance du conducteur via un système optique et un traitement d'images automatisé, et émettant une alerte lorsque le conducteur est inattentif ou hypovigilant.
- EDPM : *Équipement de Déplacement Personnel Motorisé*.
- FCNN : "*Fully-Connected Neural Network*". Type de couche faisant partie d'un réseau de neurones artificiels.
- FCW : "*Front/Forward Collision Warning*". Avertissement de collision frontale.
- GMP : "*Global Max Pooling*". Couche d'un réseau de neurones artificiel fournissant la valeur maximale observée d'une CAM.
- GNSS : *Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites*. (Par exemple GPS)
- HOG : "*Histogram of Oriented Gradients*". Caractéristiques d'une image utilisée pour la détection d'objets.
- INSV : *Institut National du Sommeil et de la Vigilance*.
- LDW : "*Lane Departure Warning*". Avertissement de Franchissement de Ligne.
- MGEN : *Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale*.
- NHTSA : "*National Highway Traffic Safety Administration*". Agence fédérale américaine des États-Unis chargée de la sécurité routière.
- ONISR : *Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière*.
- REST : "*REpresentational State Transfer*". Architecture logicielle définissant un ensemble de contraintes à utiliser pour créer des services web.
- SVM : "*Support Vector Machine*". Caractéristiques d'une image utilisée pour la classification d'objets.

- ROI : *“Region Of Interest”*. Région d’intérêt d’une image.
- TIV : *Temps Inter Véhicule*. Durée nécessaire pour que le véhicule ego atteigne la position actuelle du CIPV en maintenant sa vitesse actuelle.
- TTC : *Time To Collision*. Temps restant avant la collision avec un obstacle, si aucune manœuvre d’évitement n’est réalisée.
- VMA : *Vitesse Maximale Autorisée*. (en km/h).

Objectifs. L'objectif des travaux menés dans le cadre du lot 1 du projet USCOMA est de caractériser l'utilisation actuelle du smartphone au volant par les conducteur·trice·s français·e·s, en apportant des éléments de réponses étayés aux questions de recherches suivantes : quelles sont les différences d'utilisation entre conducteur·trice·s, il y-a-t-il des profils types d'utilisateur·trice identifiables? Quels sont les facteurs qui influent sur l'utilisation du téléphone? Quels sont les scénarios typiques de manipulation du téléphone au volant? Quels sont les impacts de l'utilisation du téléphone sur la conduite ?

Méthodologie. La compréhension des nouveaux usages du smartphone est appréhendée par l'utilisation combinée de deux outils : la base de données en conduite naturelle UDRIVE, la plus riche collectée en Europe ces dernières années, et un algorithme d'identification des utilisations du smartphone, basé sur un modèle de machine-learning de reconnaissance d'images. L'entraînement et le test d'un tel algorithme a nécessité l'annotation de près de 50 000 images et a permis une détection en continu de l'utilisation du téléphone à la main ou à l'oreille par les conducteur·trice·s, sur les 12500 heures constituant la base de données UDRIVE France. En parallèle, l'enrichissement par algorithmes des données collectées (CAN Véhicule, GNSS, caméra intelligente détectant obstacles et marquages) a permis d'obtenir une caractérisation détaillée de l'environnement de conduite et du comportement routier des conducteurs.

Résultats. Plusieurs résultats significatifs ont été obtenus dans le projet USCOMA en lien avec les questions de recherches posées.

Premièrement, on observe en circulation **une utilisation « à la main » plus de 24 fois plus fréquente qu' « à l'oreille »** (1.12 utilisation par heure contre 0.045). Ces utilisations à la main sont également en moyenne beaucoup plus courtes et fragmentées. Ces observations sont cohérentes avec les précédents résultats du projet UDRIVE, même si les fréquences d'utilisation relevées sont sensiblement supérieures..

Deuxièmement, on observe une grande disparité dans le recours au téléphone entre les 43 conducteur·trice·s ayant participé·e·s à l'étude. Ainsi, on observe **un rapport de 1 à 100 dans la fréquence d'utilisation entre les plus gros·ses et les plus petit·e·s utilisateur·trice·s**. On note aussi des différences dans le type d'utilisations : les conducteur·trice·s qui utilisent fréquemment leur smartphone à la main ne sont pas forcément ceux·elles qui l'utilisent à l'oreille.

Troisièmement, cette étude a permis de dégager des types de situations où l'utilisation du téléphone est bien plus fréquente. Ainsi, l'utilisation à la main est plus fréquente en milieu urbain et, dans une moindre mesure, sur autoroute. Quel que soit le contexte et le type d'utilisation, on observe également une diminution de la fréquence d'utilisation lorsque la vitesse augmente, jusqu'à un seuil d'environ 40 km/h au-delà duquel cette fréquence semble rester constante malgré le risque accru pour le·la conducteur·trice et les autres usagers en cas d'éventuelle collision. A l'inverse, la fréquence

d'utilisation est particulièrement élevée à faible vitesse (<20 km/h). La fréquence maximum d'utilisation est d'ailleurs atteinte à l'arrêt, avec des utilisations qui se font dans le cadre de scénarios typiques de manipulations, tels que les bouchons, l'attente dans une file de véhicule ou à un feu rouge. L'utilisation à la main dans ces contextes est en moyenne **plus de 6 fois plus fréquente qu'en mouvement**. Si ces utilisations à l'arrêt présentent peu de risque en elles-mêmes, l'étude a montré qu'elles **débouchent sur une probabilité plus de 50 fois plus importante d'avoir une utilisation en mouvement dans les instants qui suivent**.

Enfin, cette concentration de risques liés à l'utilisation du smartphone au volant, et à la déconcentration qui en résulte, a pu être mise en évidence grâce à une augmentation sensible du nombre d'avertissements de sécurité remontés pendant ces séquences d'utilisation. Ces avertissements, détectés par un capteur optique embarqué, correspondent soit à une alerte de franchissement de ligne, soit à un risque de collision frontale contre l'obstacle précédant l'égo-véhicule. Si leur apparition n'est pas toujours synonyme d'une faute d'inattention du conducteur·trice, l'augmentation significative de leur fréquence pendant les phases d'utilisations, ou entre deux phases, démontre le sur-risque inhérent à l'utilisation du smartphone en conduisant. **Celui-ci a pu être quantifié, avec une probabilité d'apparition d'un avertissement de collision frontale et de franchissement de ligne plus de 2 fois plus importante pour une utilisation à la main.**

En conclusion, les travaux USCOMA rapportés ici, ont pu démontrer l'existence de schémas d'utilisations répétés du smartphone causant une dégradation sans équivoque de la qualité de conduite et apparaissant dans des types de situations bien identifiés.

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. CONTEXTE

Le début des années 2010 a été marqué par une rupture technologique majeure dans le domaine des télécommunications avec l'apparition des smartphones. Dans la décennie qui a suivi, les smartphones ont remplacé les téléphones portables traditionnels et équiperont aujourd'hui 4 français sur 5.

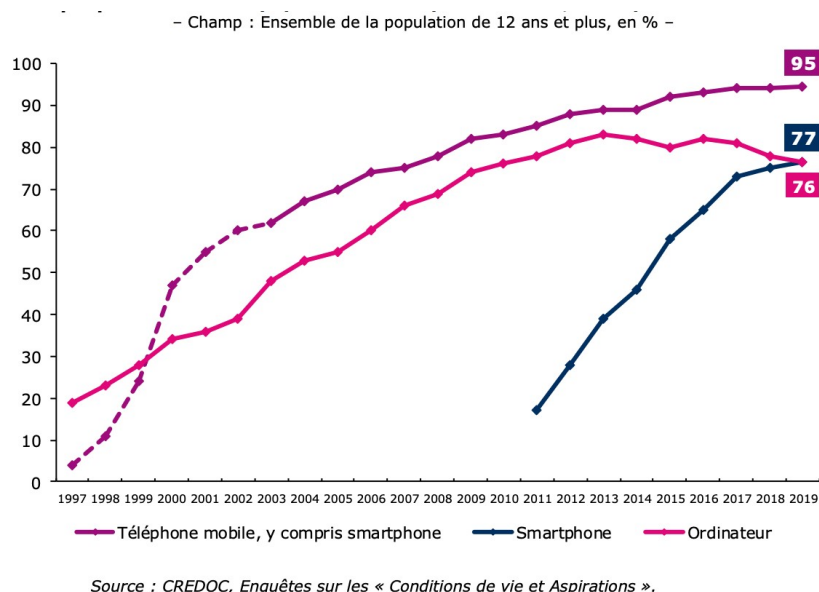


Figure 1 : Taux d'équipement en téléphone mobile, smartphone et ordinateur

Ces anciens téléphones portables étaient exclusivement dédiés aux télécommunications, contrairement aux smartphones qui servent également d'appareil photo, de terminal internet, de positionneur GNSS, de lecteur multimédia, de console de jeux vidéo... Cette rupture a été accompagnée d'un changement radical de l'offre d'abonnement téléphonique qui propose aujourd'hui, dans la grande majorité, des appels et SMS illimités, en plus d'un plan de consommation de données via internet étendu. En conséquence, le temps passé sur smartphone a drastiquement augmenté, atteignant 2.7 heures par jour en moyenne par Français en 2019 (State Of Mobile - data.ai, 2023). Les années 2020 et 2021, marquées par la pandémie de COVID et les restrictions de déplacements, ont encore vu ce chiffre augmenter à 3.6 heures par jour en 2022 (State Of Mobile - data.ai, 2023). Ce volume correspond à plus de 20% du temps éveillé moyen d'un adulte français en 2020 (MGEN/INSV, 2020).

Cette utilisation de plus en plus fréquente impacte tous les moments de la journée, y compris les moments passés derrière le volant, malgré l'interdiction de manipuler un téléphone pendant la conduite. Le smartphone a également complexifié l'utilisation du téléphone pendant la conduite avec les fonctions de navigation, de multimédia, de rédaction, de consultation de sites internet ou d'applications s'ajoutant aux appels « classiques ». Si le sur-risque d'accident pendant une conversation téléphonique reste discuté, celui associé à la manipulation du téléphone ne fait plus

aucun doute (Bruyas M.-P. , 2019). Mis en évidence depuis longtemps par des études expérimentales, ce risque très accru d'accident (odd-ratios proches de 10) est confirmé par l'analyse des données « naturalistic driving » américaines du projet SHRP2 { (Dingus, 2019) ; (Owens, 2018)}. En France, une expertise collective estimait en 2011 que près d'un accident corporel de la route sur dix était associé à l'utilisation du téléphone au volant (Brusque, 2011). Les enquêtes d'usages comme les observations en bord de voie montrent malheureusement que son usage au volant s'accroît : aujourd'hui, plus de 30% des conducteurs reconnaissent lire leurs SMS et 20% reconnaissent en envoyer lorsqu'ils conduisent (Bruyas & Evennou, 2017) ; 2,1% des automobilistes observés dans les grandes agglomérations sont en train de manipuler leur téléphone (ONISR, 2019). Ces études, précieuses pour mesurer l'ampleur du phénomène, ne reposent en revanche que sur des déclarations où des observations ponctuelles. Elles ne permettent donc pas d'analyser les stratégies d'adaptation associées à l'usage du téléphone au volant, ni d'en mesurer l'impact réel sur la conduite.

Afin d'améliorer notre connaissance sur les usages actuels du smartphone au volant, le lot 1 du projet USCOMA s'appuie sur deux éléments distincts : la base de données en conduite naturelle UDRIVE, collectée en France et en Europe entre 2015 et 2017 auprès de plusieurs dizaines de conducteur-trice-s civil-e-s, et des algorithmes innovants permettant la détection automatique de l'utilisation du smartphone sur les 12 626 heures de données présentes dans la base UDRIVE France.

A ce titre, cette étude s'inscrit dans la continuité du travail initié dans le projet UDRIVE sur les tâches distrayantes, dont les usages du smartphone et leurs impacts sur la conduite (Carsten, 2017). Le développement d'un algorithme robuste de codage automatique de l'utilisation du téléphone à la main ou à l'oreille permet effectivement d'étendre l'analyse à l'ensemble des 12 626 heures de la base françaises de roulage (contre 58 heures précédemment annotées à la main).

1.2. ETUDES PREALABLES SUR L'USAGE DU SMARTPHONE EN CONDUITE

Plusieurs catégories de distraction sont associées à l'usage du téléphone au volant (Young, 2007) : visuelle, manuelle, auditive et cognitive.

Ainsi, un appel main libre amène une distraction auditive et cognitive à écouter et se concentrer sur la discussion. Un appel avec le téléphone tenu en main, ajoute une distraction manuelle (une main est prise pour tenir le téléphone). Les interactions tactiles avec le téléphone, pour composer un numéro ou pour écrire un SMS, par exemple, impliquent quant à elles une distraction visuo-manuelle en plus de la concentration cognitive nécessaire : les yeux et les doigts doivent se coordonner avec précision pour interagir avec l'écran tactile. Ces tâches visuo-manuelles sont tout particulièrement associées à des risques accrus (Dingus, 2019). Elles sont citées pour perturber les contrôles visuels en conduite, la détection d'objet, le temps de réaction, les régulations de la position dans la voie, la vitesse et du temps de suivi (Caird, 2014).

Différentes études se sont déjà penchées sur l'analyse de l'utilisation du smartphone à partir de données en conduite naturelle. Les études trouvées se sont appuyées sur un codage manuel des données. La méthode consiste alors à sélectionner certains trajets de certains conducteurs de la base de données (de manière aléatoire mais avec des critères pour exclure les cas particuliers). Cette

approche a l'avantage de permettre une caractérisation fine des utilisations. En revanche, en raison de l'importante charge demandée par l'annotation, elle limite significativement le volume de données analysées.

L'étude de référence est ici celle menée lors du projet UDRIVE (Carsten, 2017) sur la base de données du même nom. Le travail d'annotation puis d'analyse a porté sur 194 heures de conduite (dont 58 en France), soit 745 trajets réalisés par 96 conducteurs, majoritairement entre 1 et 30 min (217 trajets/26 conducteurs en France, 83/12 en Allemagne, 150/20 en Pologne, 295/38 en Angleterre. Une étude est venue compléter l'analyse pour 28 des 33 conducteurs Hollandais de UDRIVE avec 20 à 40 trajets par conducteur (Christoph, 2019).

Ces annotations manuelles offrent une image de l'usage du téléphone dans UDRIVE, donnée dans la Table 1 en termes de pourcentage du temps de trajet. Les différents types d'utilisation du téléphone sont détaillés : recherche du téléphone (« Reach for »), utilisation main libre - accroché à un support (« Hands Free Interaction »), appel en main libre (« Hands Free conversation »), appel avec le téléphone en main (« Hands held conversation ») et les interactions avec le téléphone en main : simplement tenu (« hold »), utilisation (« Hands Held interaction »), ou lecture (« Hands Held read »). Les deux dernières colonnes, marquées en gras, représentent les tâches visuo-manuelles les plus distractives. Un des résultats de l'étude est de montrer une grande disparité entre les pays.

Le projet UDRIVE a également étudié l'impact des profils conducteur-trice-s, mesurés par des questionnaires, montrant notamment qu'un profil plus sécuritaire envers la vitesse, ou la considération de la responsabilité du conducteur dans les accidents était corrélé avec une utilisation plus faible du téléphone. Une caractérisation de la complexité des tâches secondaires et de celle de la tâche de conduite a montré que la durée des premières diminuait quand la seconde augmentait. Un résultat plus paradoxal était que les tâches secondaires étaient plus fréquentes quand la conduite était plus sollicitante.

Table 1 : Pourcentage du temps de conduite trouvé dans UDRIVE sur les trajets sélectionnés (issu du rapport UDRIVE + Christoph et al. 2019 pour la dernière ligne)

	Heures annotées	Utilisation du téléphone (% du temps de conduite annoté)							
		Total	Recherche	Usage main libre	Appel main libre	Appel à l'oreille	Manipulation à la main		
		Total	Reach For	HF Int	HF conv	HH conv	Tenu	Utilisation	Lecture
							Hold	HH int	HH read
France	58.57	3.48%	0.08	0.83	1.92	0.01	0.15	0.43	0.05
Poland	150	9.79%	0.15	5.11	0.89	0.98	0.54	2.03	0.09
UK	295	2.87%	0.23	0.55	0.35	0.04	0.38	1.18	0.13
NL	225	9.20%	0.20	0.60	2.10	0.00	4.50	1.50	0.20

Un autre résultat marquant est l'importance de l'usage lors des phases d'arrêt, soit la majorité des interactions visuo-manuelles (56%) pour la France, la Pologne et le Royaume-Uni. L'étude sur les conducteurs hollandais a permis d'explorer plus finement l'enchaînement des séquences et l'importance de ces moments à l'arrêt. Ainsi, 25% des tâches visuo-manuelles ont été initiées à l'arrêt —3 fois plus que celles initiées en mouvement— tendance confirmée par (Tivesten, 2015) et (Metz, 2014), et souvent poursuivies alors que le véhicule était en mouvement. Par ailleurs, dans la

dynamique d'utilisation, dans 22% des cas une activité de recherche du téléphone avait lieu dans les 5 secondes avant l'initiation d'une tâche visuo-manuelle. En remontant plus encore, entre 10 et 15 sec avant l'initiation, le téléphone était tenu dans 33% des cas et utilisé pour une autre tâche visuo-manuelle dans 22%.

En termes d'impact sur la conduite, lors d'un appel téléphonique, le temps de regard sur la route augmente, ce qui améliore la stabilité dans la voie (Fitch, 2013). A l'inverse, bien sûr, le temps de regard sur la route diminue pendant une tâche visuo-manuelle. Cette inattention participe à la survenue d'incidents, dont 8% ont été attribués à l'usage du téléphone dans l'étude « 100 cars » (NHTSA, 2006). Les études remontent cependant peu d'impact direct sur la conduite. Par exemple, la vitesse est identifiée comme globalement constante entre 15 s avant et 5 s après une tâche visuo-manuelle (Christoph, 2019), parfois augmentant, parfois diminuant avec en moyenne une baisse de 7,74 km/h (Carsten, 2017). Les études identifient en revanche de manière plus affirmative des adaptations du conducteur et des effets de la gestion de la temporalité de la tâche :

- Moins de manœuvres dans les 5 secondes précédant une tâche visuo-manuelle (Christoph et al. 2019) alors que le conducteur attend un moment stable, mais des croisements de lignes plus fréquent avant que pendant, alors que le conducteur attend la fin d'une manœuvre pour initier la tâche (Tivesten, 2015).
- Des freinages plus fréquents après une interaction, qui est interrompue pour gérer l'événement qui arrive (Fitch, 2013).
- Des interactions visuo-manuelles qui s'initient alors que le THW s'accroît devant le conducteur qui, en n'accélération pas, profite de ce surcroît de marge (Tivesten, 2015).

L'intérêt de l'annotation automatique utilisée dans notre étude est de pouvoir qualifier un volume de données beaucoup plus important et donc de mieux identifier les tendances liées à l'usage du téléphone.

Par ailleurs la richesse de la base UDRIVE permet également de caractériser des conditions particulières de l'environnement de conduite, et grâce au volume disponible d'obtenir des statistiques significatives (l'annotation effectuée dans l'étude UDRIVE n'avait permis de trouver que seulement 178 tâches d'interaction avec le téléphone sur la base française).

1.3. ATTENDUS DE L'ETUDE

L'étude proposée dans ce lot 1 d'USCOMA cherche à tirer parti de l'annotation automatique pour préciser la connaissance de l'utilisation du téléphone au volant par les conducteurs français. Cette détection automatique, si elle ne permet pas de distinguer aussi finement les types d'utilisation du téléphone (limité à « à l'oreille » et « à la main »), offre la possibilité de couvrir tous les trajets de tous les conducteurs. Obtenir cette couverture par une annotation manuelle nécessiterait un travail rédhibitoire (plus de 7 ans d'Equivalent Temps Plein (ETP) pour le premier visionnage en temps réel). Or, les événements étudiés restent rares (utilisation du téléphone et a fortiori, fort heureusement, les « presque accidents » directement causés par une distraction liée à l'utilisation du smartphone), leur analyse requiert précisément un volume de données annotées important. Enfin, plus le nombre

d'occurrences détectées de tels évènements est important, plus l'étude de la partie d'entre eux associée à une condition d'apparition donnée permettra d'obtenir les résultats statistiquement significatifs.

En exploitant ces éléments, il est attendu de cette étude qu'elle donne des éléments de réponses étayés aux questions de recherche suivantes :

- Quelles sont les différences d'utilisation entre conductrice-s ? Il y-a-t-il des profils types d'utilisateur-trice-s identifiables ?
- Quels sont les facteurs qui influent sur l'utilisation du téléphone ?
- Quels sont les scénarios typiques de manipulation du téléphone au volant ?
- Quels sont les impacts de l'utilisation du téléphone sur la conduite ?

Pour cela, la suite de ce rapport est organisée en plusieurs parties, présentées ci-dessous.

Méthodologies utilisées

1. Rappels sur les caractéristiques de la base de données initiale (UDRIVE) ;
2. Définition et résultats des algorithmes de détection automatique de l'utilisation à la main/à l'oreille du smartphone par une analyse image par image de la vidéo du conducteur ;
3. Caractérisation des conditions du contexte de conduite (trafic environnant, phase d'arrêt, infrastructure routière, ...) pour en tester ensuite l'impact ;
4. Distinction de la « base complète » de la « base en circulation » (qui exclue les moments de stationnement), afin de différencier les usages du téléphone avec ou sans impact sécuritaire.

Analyses effectuées et de leurs résultats

1. Présentation, et comparaison avec UDRIVE, des utilisations détectées : à la main/à l'oreille, sur les bases « complètes » et « en circulation » ;
2. Analyse de la variabilité d'utilisation selon les conducteur-trice-s ayant participé à l'étude UDRIVE ;
3. Analyse de l'impact des conditions du contexte de conduite sur l'utilisation du téléphone, notamment en termes de vitesse de l'égo-véhicule et de contexte routier ;
4. Analyses des scénarios typiques de manipulation du téléphone, notamment en termes de séquences d'utilisation et du rôle des phases d'arrêt sur l'initiation d'une séquence ;
5. Analyse de l'impact de l'utilisation du téléphone sur la gestion de vitesse, le temps de suivi, et le contrôle latéral et longitudinal du véhicule.

Un objectif secondaire de ce lot est de démontrer la faisabilité de la détection automatisée d'utilisation du smartphone au volant, fonctionnalité pouvant être imaginée comme intégrable dans les systèmes de monitoring du conducteur.

2. METHODOLOGIES

2.1. PRESENTATION DE LA BASE DE DONNEES

La base de données utilisée est la base de données **UDRIVE**, soit la plus grande base de données en conduite naturelle d'Europe, enregistrée entre 2015 et 2017 et dont les caractéristiques principales sont présentées sur la Figure 2 ci-dessous.

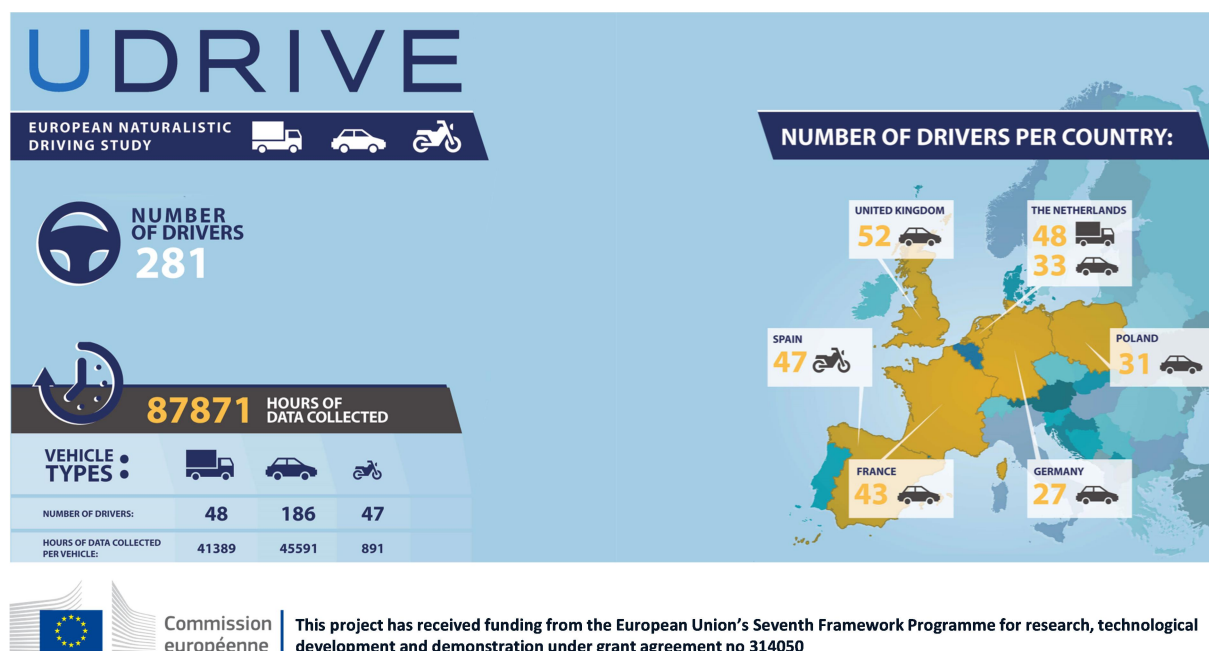


Figure 2 : Caractéristiques principales de la base de données UDRIVE

Cette base de données contient notamment les données collectées par 122 véhicules légers de particuliers (186 conducteurs) recrutés parmi le grand public, qui ont été instrumentés dans différents pays d'Europe. L'instrumentation réalisait l'enregistrement des données suivantes :

- **CAN du véhicule** : variables dynamiques, utilisation des commandes et des fonctions du véhicule par le conducteur ;
- **GNSS** : géolocalisation, qui a permis l'enrichissement des données grâce à une base de données géographique ;
- **Centrale inertielle** : accélérations, vitesses angulaires et compas sur 3 axes ;
- **Caméra intelligente Mobileye** : détection des autres usagers et de leur trajectoire, lecture des panneaux routiers, position du véhicule sur sa voie ;
- **Caméras vidéo de contexte** : vues extérieures avant du véhicule et comportement du conducteur (de la conductrice) à l'intérieur.

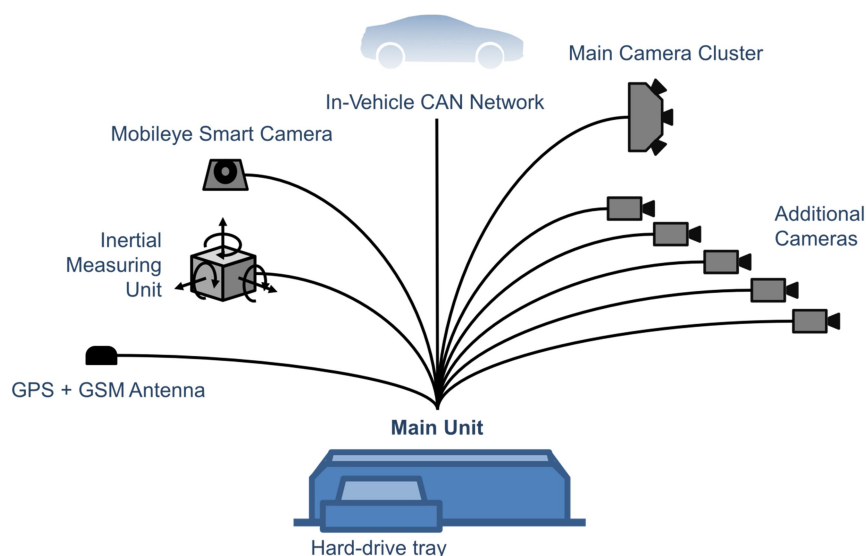


Figure 3 : Système d'acquisition de données UDRIVE

L'enregistrement était continu lors de l'ensemble des roulages des véhicules, et chaque véhicule restait instrumenté pour une durée d'environ 18 mois. Ainsi, une base de données de 2 millions de kilomètres représentant une large variété de conditions d'usage a été constituée.

A l'issue du projet européen UDRIVE, le CEESAR est devenu le premier « Partner Data Centre », habilité par le consortium à héberger la base de données UDRIVE, et à mener des études l'utilisant.

Le CEESAR peut être mandaté par un tiers pour conduire des études utilisant ces données sensibles, à condition que les besoins d'analyse couvrent les usages prévus et communiqués aux participants lors de la collecte : c'est le cas de cette étude visant la sécurité routière.

En France, 43 conducteurs utilisant 30 véhicules différents, recrutés dans la région Lyonnaise, ont permis la collecte de **12 600 heures de conduite / 573 000 km**, correspondant à l'ensemble de leurs trajets quotidiens, professionnels, de loisir... Les roulages français ont commencé fin 2015, et se sont terminés mi 2017. Les 49 832 enregistrements montrent très majoritairement des trajets courts (Figure 4).

C'est ce sous-ensemble de la base de données qui sera utilisé pour l'étude, les comportements des conducteurs dans d'autres pays européens n'intéressant pas la DSR. Ses principales caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Table 2 : Caractéristiques de la base de données UDRIVE 'France'

Nombre de Conducteurs	43
Nombre de Véhicules	30
Total Distance parcourue	572 773 km
Total Durée	12 626 heures
Nombre de trajets	49 832
Distance moyenne par trajet	11.5 km
Total durée avec données CAN non utilisables	2 Heures/ 0 km

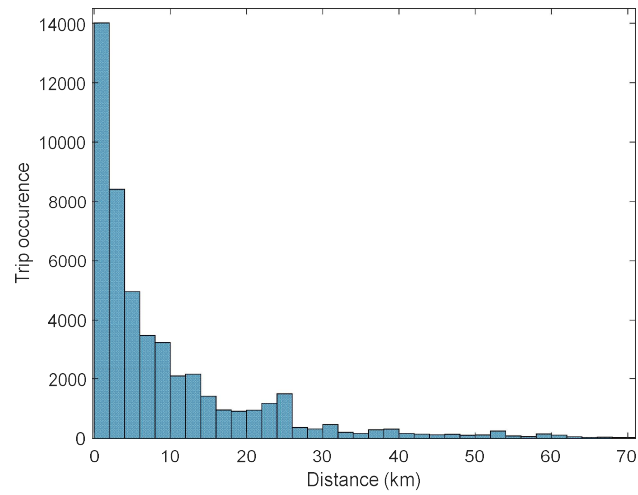


Figure 4 : Distribution de la longueur des trajets

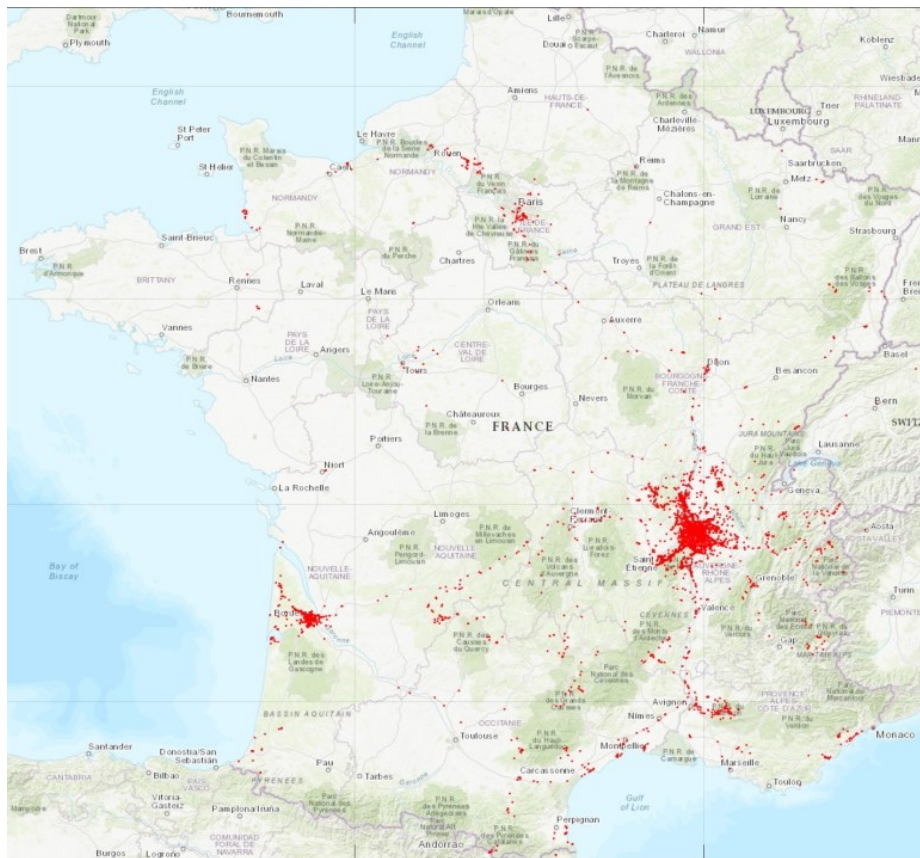


Figure 5 : Géolocalisation des points de départ/arrivée des trajets

2.1.1. DETECTION DES UTILISATIONS DE L'IHM VEHICULE

En complément de l'analyse détaillée de l'utilisation du téléphone, le projet USCOMA a exploré la possibilité d'analyser l'impact de l'interaction du conducteur avec l'IHM embarquée du véhicule. Parmi les 30 véhicules instrumentés en France, seuls 15 véhicules étaient des Clio IV équipées d'un système d'« infotainment » avec écran tactile, dont un comptage des appuis par l'utilisateur était transmis sur le réseau CAN dont le trafic était enregistré. Malheureusement, ce compteur des interactions était global : il ne distinguait pas les appuis sur l'écran —nécessitant d'orienter le regard vers l'écran pour guider le doigt vers la bonne cible— des appuis sur les commandes physiques (commandes au volant de la radio, molette sur console centrale etc.) qui peuvent être utilisées sans détourner le regard de la route. Une analyse automatisée était donc impossible. 50 000 détections candidates ont été détectées, qu'il aurait fallu annoter manuellement une par une. Cette tâche importante n'était pas financée dans la présente étude, et la pertinence d'étudier les usages de 15 véhicules seulement était discutable. L'étude de l'utilisation de l'IHM embarquée a donc été abandonnée pour l'instant.

2.2. DETECTION AUTOMATIQUE DE L'UTILISATION DU TELEPHONE

L'ensemble des données et signaux captés sont utilisés par des algorithmes pour enrichir automatiquement la base de données avec les éléments indispensables à l'étude. Cet enrichissement concerne tout particulièrement la détection de l'usage du téléphone au volant et la caractérisation du contexte de conduite.

2.2.1. METHODE

On appelle « Computer Vision » la discipline permettant de caractériser automatiquement une image, qu'il s'agisse de la classier de manière globale, ou de détecter et caractériser les objets qu'elle représente. Parmi les nombreuses méthodes existantes, l'approche neuronale, c'est-à-dire utilisant un réseau de neurones artificiels, a montré d'excellents résultats en termes de précision sur des problématiques complexes. Cette approche a donc été retenue pour cette étude, nécessitant l'analyse d'images collectées dans des contextes non-maitrisés (éclairage très variable, morphologie, position, habits différents d'un conducteur-trice à l'autre, variété des téléphones portables eux-mêmes...). Cette méthode consiste à entraîner un algorithme sur un jeu de données préalablement annoté à la main, afin d'apprendre à reconnaître des caractéristiques voulues. Plus le jeu de données est vaste, divers et ressemble aux données à classier, meilleurs seront les résultats de détection. Afin d'évaluer les résultats de notre algorithme, celui-ci est déployé sur un échantillon du jeu de données annoté, entièrement indépendant du jeu de données utilisé pour l'apprentissage, ceci afin de comparer les résultats des détections par l'algorithme et l'annotation manuelle.

Les performances des algorithmes de détection d'objets dépendent principalement de 2 éléments : la qualité du jeu d'apprentissage et de l'architecture du réseau, pour lequel de nombreux réglages sont possibles. Dans un premier temps nous détaillerons quelle a été la méthode utilisée pour générer un jeu de données d'apprentissage de qualité, avant de détailler les réglages du réseau, l'évaluation de ses résultats et le déploiement sur l'infrastructure de calcul.

2.2.2. CONSTRUCTION DES JEUX DE DONNEES D'APPRENTISSAGE ET D'EVALUATION

Parmi les caméras de contexte enregistrant en permanence l'intérieur des véhicules instrumentés, deux points de vue, « visage » et « cockpit », permettent de détecter l'utilisation du smartphone.



Figure 6 : Captures d'écran caméras « visage » et « cockpit »

Ces 2 points de vue permettent de détecter 2 types d'utilisations différentes :

- « **À la main** » : téléphone tenu à la main (tâche visuo-manuelle : manipulation du répertoire, composition de messages textuels...). Modalité détectée sur la vue cockpit.
- « **À l'oreille** » : téléphone tenu contre l'oreille (conversation téléphonique). Modalité détectée sur la vue visage

Ces deux modalités sont détectées de manières indépendantes. Deux jeux de données d'apprentissage et deux jeux d'évaluations distincts doivent donc être construits pour ces détectations.

L'annotation manuelle des images qui constitueront les jeux d'apprentissage est précédée par une étape clef de sélection de ces images. La façon la plus simple est de sélectionner aléatoirement des images parmi les enregistrements vidéo et d'annoter pour chacune la présence ou non de smartphone à l'écran. L'utilisation du téléphone ne concerne cependant qu'une faible partie du temps de conduite : « seulement » 2.1% des automobilistes observés dans les grandes agglomérations sont en train de manipuler leur téléphone (ONISR, 2019). Une telle sélection aléatoire est donc peu efficace pour obtenir un jeu de données suffisamment fourni en images « positives », c'est-à-dire comprenant une interaction avec un smartphone. Afin d'augmenter le nombre d'images positives, on préfère donc une approche itérative, en présélectionnant des images via un premier algorithme, et en validant à la main chaque image obtenue. L'ensemble de la méthode peut être décrite par les étapes suivantes :

1. **Création d'un jeu de données initial et annotation pour l'entraînement de l'algorithme #0.** Ce premier jeu de données a été créé en utilisant —sur parking et à l'arrêt— les véhicules instrumentés prototypes réalisés par le CEESAR pour UDRIVE (le CEESAR était concepteur de l'ensemble des outils et méthodologies de collecte et de prétraitement des données pour UDRIVE) et en enregistrant une variété d'employés utilisant ou n'utilisant pas leur smartphone de différentes manières et dans différentes conditions d'éclairage. Après extraction d'images et leur annotation, un premier algorithme « #0 » a été entraîné sur cette base.
2. **Sélection de séquences avec utilisation du smartphone par l'Algorithme#0.** Cet algorithme permet de sélectionner des séquences dans la base de données réelle (suite d'images se

suivant dans le temps) qui ont une probabilité élevée d'avoir une interaction avec un smartphone.

3. **Tri des séquences candidates selon la probabilité fournie par l'algorithme#0 d'une interaction avec le smartphone, dans l'ordre décroissant.** Dans cette liste de séquences ainsi triée, nous trouveront des positifs et des **faux positifs**, c'est-à-dire les séquences ne comportant pas de smartphone mais pour lesquels l'algorithme#0 en a pourtant prédit. Ces Négatifs peuvent être qualifiés de « difficiles » car, justement, l'algorithme#0 s'est trompé sur leur classification. Leur intégration dans les jeux d'apprentissages, avec le label négatif correspondant, améliore la richesse de ceux-ci.
4. **Extraction « intelligente » d'images parmi les séquences.** L'annotation porte sur des images extraites de séquences d'images qui se suivent dans le temps. L'enregistrement vidéo se fait à une fréquence de 12.5Hz, c'est-à-dire que 2 images qui se suivent sont séparées de 80 ms. Il est inutile d'annoter toutes les images d'une séquence et de les inclure dans le jeu d'apprentissage, si toutes les images se ressemblent. Il faut donc extraire certaines images parmi les séquences. En faisant l'hypothèse qu'une scène évolue plus lorsque le véhicule est en mouvement (comportement du conducteur, condition d'éclairage de la scène...) il est intéressant de sélectionner des images à des intervalles d'autant plus courts que la vitesse du véhicule est plus élevée.
5. **Extraction aléatoire sur le reste de la base.** Dans les étapes 3 & 4, on a sélectionné des séquences positives et des négatives difficiles. Afin ne pas introduire de biais, on sélectionne également de manière aléatoire des images qui seront représentatives de la base et notamment des négatifs « classiques »
6. **« Nettoyage » du jeu.** Avant l'annotation effective on exclut manuellement les images qui sont en doublons (deux images qui se suivent et qui sont quasi identiques malgré l'extraction « intelligente ») et les cas ambigus (smartphone utilisé par le passager, utilisé sur un support pare-brise/ventilation, ...)
7. **Annotation des images.** Pour chaque image un label « positif » ou « négatif » est généré et la zone de présence du smartphone est désignée par une région d'intérêt (Region Of Interest, ROI) rectangulaire.

Une fois ces labels générés, les images sont réparties soit dans le jeu d'apprentissage (« Train », en anglais) soit dans le jeu d'évaluation (Test). Le modèle de réseau de neurones de l'algorithme de détection final est entraîné sur le jeu d'apprentissage et déployé sur le jeu d'évaluation, générant ainsi une prédiction de présence ou non de smartphone pour chaque image du jeu d'évaluation. En comparant les prédictions à l'annotation manuelle, on peut ainsi évaluer les performances de l'algorithme et régler ses paramètres.

Il est important de distinguer les jeux d'apprentissages et d'évaluation car il est plus facile d'effectuer une prédiction juste sur une image qui a servi à l'apprentissage du modèle, ce qui amènerait à une surévaluation des performances de l'algorithme. Afin d'éviter tout biais dans nos 2 jeux, **une image ne peut être intégrée au jeu d'évaluation si une autre image tirée du même enregistrement (même véhicule, même conducteur, même jour) est dans le jeu d'apprentissage.** En respectant cette règle voici la répartition finale des jeux d'entraînement et de test :

Table 3 : Quantité d'Images annotées

	« À la main »		« À l'oreille »	
	Entrainement	Test	Entrainement	Test
Positive	2 906	731	1 316	331
Négative	8 970	2 257	26 267	6 575
Total	11 876	2 988	27 583	6 906
	14 855		34 489	

Au total, **plus de 49 000 images** ont ainsi été annotées à la main par nos équipes pour les besoins **du projet**. Afin de faciliter ce travail, un outil dédié à l'annotation de grandes quantités d'images a spécialement été développé (cf. Figure 7)

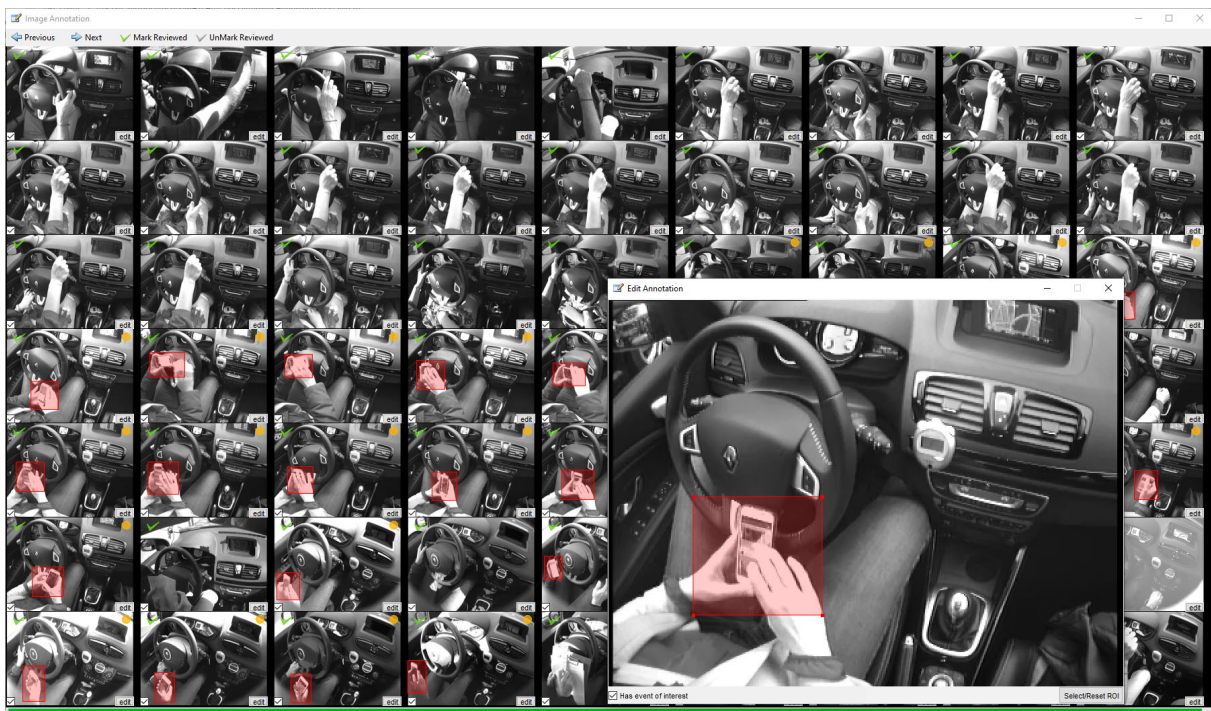


Figure 7 : Outil d'annotation d'images

DEMARCHE & OBJECTIFS

L'objectif de ces travaux scientifiques consiste à entraîner des modèles afin de détecter automatiquement les occurrences de chaque tâche avec la meilleure précision possible et le plus rapidement possible. En s'appuyant sur ses travaux précédents et après un état de l'art, Wassa a fait le choix de l'approche moderne du deep-learning, qui a fait toute ses preuves sur ce genre de problématique en comparaison des méthodes plus traditionnelles comme par exemple HOG + SVM. Les principales actions mises en œuvre ont été les suivantes :

1. choix d'une architecture de deep-learning
2. recherche des meilleurs hyper-paramètres
3. entraînement d'un model final
4. analyse des résultats finaux

ARCHITECTURE DEEP-LEARNING ET CHOIX DES HYPER-PARAMETRES

Un modèle de deep-learning est un graphe d'opérations mathématiques appliquées sur des matrices. Le nombre, le type et l'ordre de ces opérations est important. Le choix de ce graphe revient alors à choisir l'architecture du modèle à utiliser. La littérature propose de nombreuses architectures possibles. Le choix de l'architecture s'effectue en fonction des fonctions recherchées (par exemple classification, segmentation, détection, ...). Pour ce projet, les fonctions à apprendre sont de la classification d'image avec des "objets". Aussi, Wassa a fait le choix d'utiliser une architecture moderne de type mono-tâche.

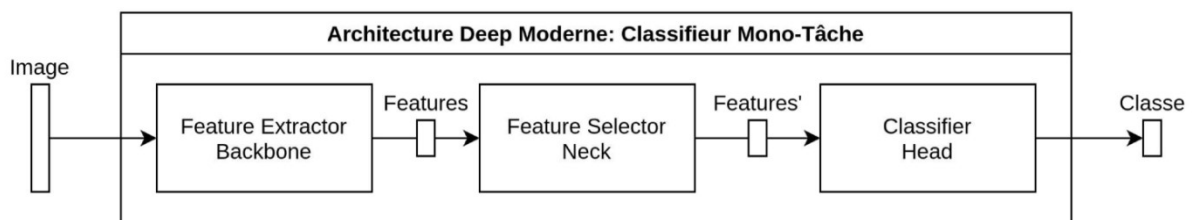


Figure 8 : Schéma architecture de classifieur Mono-Tâche

L'architecture choisie est composée des composants suivants :

1. **Extracteur de « features » (backbone)**, Wassa a fait le choix d'un mobilenet_v2 pré-entraîné. Il s'agit d'un extracteur de descripteurs standard optimisé pour être rapide et peu consommateur de ressources. Le choix d'une version pré-entraînée permet d'accélérer les entraînements.
2. **Sélecteur/mélangeur de features (neck)**. Après les premiers entraînements exploratoires, le sélecteur retenu est de type GMP (Global Max Pooling). Le choix est fait au regard de premiers entraînements exploratoires.
3. **Pour le classifieur (head)**. Wassa a fait le choix d'un sous-réseau dense, Fully Connected Neural Network (FCNN) composé de plusieurs couches de neurones.

METRIQUES

Une fois qu'une image a été classifiée, 4 résultats sont possibles :

- VRAI POSITIF (TP) : Une utilisation du téléphone est présente sur l'image et a été détecté avec succès.
- VRAI NEGATIF (TN) : Aucune utilisation du téléphone sur l'image, et aucune utilisation n'a été détectée.
- FAUX POSITIF (FP) : Aucune utilisation du téléphone sur l'image, mais l'algorithme en a détecté une.
- FAUX NEGATIF (FN) : Une utilisation du téléphone est présente sur l'image mais n'a pas été détecté par l'algorithme.

Les évènements recherchés étant rares, une écrasante majorité des détections sont VRAI NEGATIF. A partir du décompte des classements précédents, les métriques suivantes sont calculées pour évaluer les performances du modèle :

- Score de justesse (accuracy). Il s'agit le pourcentage de VRAI (positifs ou négatifs) sur le nombre total d'échantillon $Justesse = \frac{TP+T}{TP+TN+FN+F}$
- Précision (precision). Il s'agit de la proportion de VRAI POSITIF obtenue parmi toutes les détections remontées par le modèle $Précision = \frac{TP}{TP+FP}$
- Rappel (recall). Il s'agit de la proportion de VRAI POSITIF obtenue parmi tous les POSITIFs de la base. $Rappel = \frac{TP}{TP+FN}$

Un autre outil d'analyse utilisé a été la carte d'activation des classes (CAM - Class Activation Map). Celle-ci indique les régions d'images discriminatives utilisées par le CNN pour identifier la tâche et permet ainsi de confirmer que le modèle entraîné est pertinent.



Figure 9 : Exemple de CAM permettant la détection d'une utilisation « À la main »

RESULTATS

Le résultat de la classification sur le jeu de test a donné les résultats suivants :

Table 4 : Résultats de détection de l'utilisation du téléphone sur le jeu de Test

Tâche	Précision	Rappel	Justesse
« À la main »	99%	99%	99%
« À l'oreille »	94%	94%	99%

Une excellente justesse était attendue car les images VRAI NEGATIF sont majoritaires. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et correspondent à des algorithmes robustes.

Il est cependant à noter :

- La persistance de quelques faux-négatifs (6%) sur la tâche de « Phoning ». Il s'agit d'images pour lesquelles le modèle ne détecte pas la présence de la tâche alors que celle-ci est présente. Les causes principales sont les suivantes :
 - Le téléphone est caché par la main du conducteur
 - La main du conducteur est cachée par le volant (mauvaise position de la caméra).
- Également des faux positifs sur cette même tâche, résultant de mouvement de la part des conducteur-trice-s qui se touchent le visage.

Pour ces deux cas, on considère que la prédiction du modèle est légitime et ne pose pas de problème en soit dans le contexte d'une séquence vidéo car l'algorithme a pour objectif d'isoler des séquences vidéo et non des images. Une consolidation temporelle utilisant des séquences d'images correspondant aux vidéos est développée dans la suite.

2.2.4. MISE EN PRODUCTION

OBJECTIFS

Les travaux techniques visent à définir et implémenter une architecture logicielle permettant de traiter l'intégralité des données dans un laps de temps compatible avec le planning projet. Pour rappel, pour chaque tâche d'annotation automatique (« À la main » / « À l'oreille ») plus de **560 000 000 d'images sont à traiter**. Les contraintes pour réaliser cette implémentation sont les suivantes :

1. Montée en charge : on souhaite pouvoir utiliser toutes les ressources disponibles sur une machine pour traiter le plus rapidement possible les vidéos.

2. Multi-machine : on souhaite pouvoir utiliser les ressources de plusieurs machines si cela est requis mais également pouvoir contrôler l'exécution à partir d'une machine distincte de la machine qui effectue les traitements.
3. L'intégralité des données et des traitements sont à réaliser dans l'environnement sécurisé du CEESAR. C'est une exigence forte à la fois légale et éthique liée à la nature personnelle et sensible des données traitées.
4. Interface multi-langage : on souhaite faire communiquer le code de lancement des traitements du CEESAR en MATLAB avec le code de traitement de Wasssa en Python3.
5. Multi-tâches : on souhaite avoir une plateforme générique malgré la présence de tâches différentes (« À la main » / « À l'oreille »)
6. Résilience : on souhaite que le système soit en mesure de redémarrer et d'être robuste aux pannes en cas de besoin.

Simplicité : on souhaite que le déploiement et l'utilisation du système soit le plus simple possible.

ARCHITECTURE RETENUE

Pour répondre aux différentes contraintes définies précédemment, Wasssa a choisi une architecture utilisant les principes et composants techniques suivants :

1. Job-Queue Design Pattern
2. API State-Less HTTP REST
3. Dockerisation & Docker Swarm

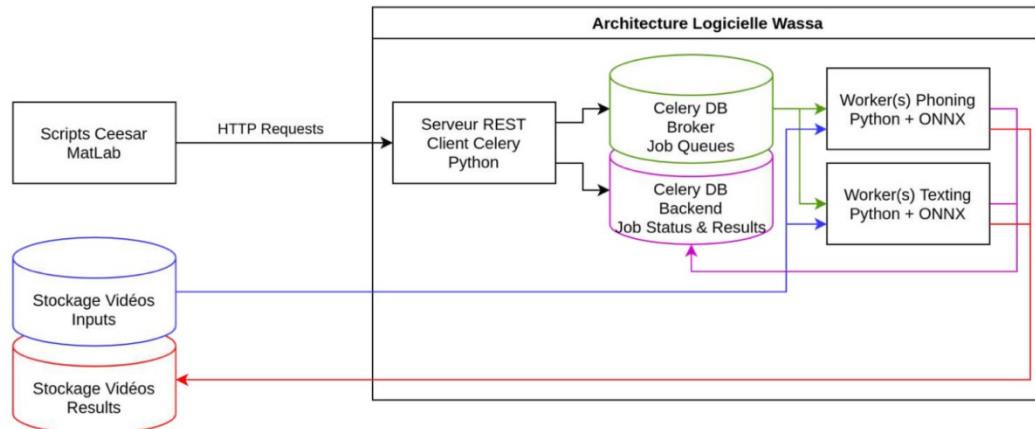


Figure 10 : Schéma de l'infrastructure de l'architecture logicielle mise en œuvre

JOB-QUEUE CELERY

Job-Queue est un design pattern qui consiste à déléguer l'exécution de tâches à des programmes tiers par l'intermédiaire de « todo-lists » (queues). Ici, une tâche est l'analyse d'une vidéo, pour l'utilisation soit « À la main », soit « À l'oreille »).

Lorsqu'une nouvelle tâche est à réaliser, elle est inscrite dans une queue (broker). En parallèle, un ou plusieurs programmes (workers) attendent qu'une tâche soit disponible. Lorsqu'un worker constate qu'une tâche est disponible, il la retire de la queue, la réalise, et stocke le résultat dans une base de

résultats (backend). Une tâche ne peut être traitée que par un seul worker. Lorsqu'aucune tâche n'est disponible, les workers attendent.

Ce design pattern permet de répartir la charge de calcul. Pour utiliser plus de ressources et ainsi exécuter plus vite les tâches, il est possible d'augmenter le nombre de workers. Par ailleurs, les workers sont indépendants : ils peuvent être déployés sur des machines différentes et bénéficier ainsi de toutes les ressources matérielles disponibles.

SERVEUR

Un Serveur et des API REST mettent à disposition des web-services. La communication se fait via le protocole HTTP.

Cette architecture permet :

1. Faire communiquer les scripts du CEESAR en MATLAB et l'environnement WassA en Python
2. Lancer l'analyse de vidéos depuis un poste client tout en exécutant l'analyse sur un serveur doté de puissance de calcul (toujours dans l'environnement réseau fermé du CEESAR)

INFRASTRUCTURE DE DEPLOIEMENT

L'infrastructure de déploiement choisie par WassA s'appuie sur Docker Swarm. Cette solution est bien adaptée à la gestion d'une architecture comportant plusieurs composants logiciels (Serveur REST, Workers, Base Brocker, Base Backend). Elle permet en outre un déploiement simple et adapté à la charge, une forte résilience aux pannes et un redémarrage automatique en cas d'arrêt du système.

Docker est un logiciel permettant d'exécuter chaque composant dans un environnement isolé (container). Isoler chaque composant permet de simplifier la configuration en évitant les conflits ainsi que d'isoler les pannes. Docker Swarm permet de décrire et d'automatiser le démarrage et le redémarrage de chaque composant.

Sur le plan technique, l'architecture mise en place par WassA permet à la solution de traiter efficacement la grande quantité de vidéos disponibles du CEESAR dans le respect des contraintes liées à la nature personnelle des données. Cette plateforme rapide à déployer et totalement autonome, permet d'accélérer les traitements via une utilisation optimisée des ressources disponibles.

2.2.5. CONSOLIDATION TEMPORELLE DES DETECTIONS

Les performances des modèles précédents ont été obtenues sur des images instantanées, sans prendre en compte l'aspect temporel des séquences d'images qui constituent les vidéos.

Pour illustrer cet état de fait, comparons deux séquences types :

1. Une séquence type d'une utilisation d'une minute détectée avec succès en tant que positive par les modèles, résultant en environ 750 images différentes qui sont des VRAI POSITIF.

2. Une séquence type de 2s avec une ombre sur la cuisse du conducteur qui entraîne une détection de l'utilisation du smartphone, résultant en environ 25 images FAUX POSITIF.

La présence dans un enregistrement d'une séquence de type 1 et de deux séquences de type 2 amène 800 images, 750 VRAI POSITIF et 50 FAUX POSITIF, ce qui équivaut à une précision de 94%. En revanche, si on comptabilise non pas les images prise indépendamment les unes des autres mais les séquences vidéo composées des suites d'images, la précision tombe à 33% seulement (1 seule utilisation détectée sur 3 est VRAI POSITIF).

La consolidation temporelle des détections a pour premier objectif de filtrer les fausses détections éphémères pour lesquelles la confiance est trop faible, permettant ainsi d'améliorer la précision de la détection automatique d'utilisation du smartphone.

Le second objectif de la consolidation temporelle est d'être robuste à une perte de détection, éphémère également, qui pourrait séparer en deux une seule et même utilisation. Ces deux problématiques sont illustrées dans la Figure 11 ci-dessus.

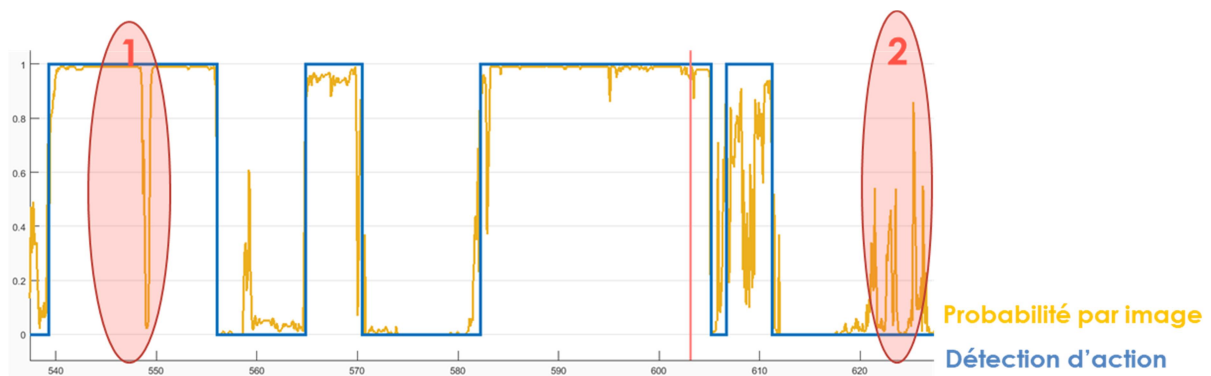


Figure 11 : Exemple de consolidation temporelle

Deux signaux sont présents sur ce graphique :

- En orange, la probabilité d'utilisation par image, comprise entre 0 et 1, directement obtenue par le modèle d'apprentissage. Il s'agit de la seule donnée disponible pour construire les phases d'utilisation.
- En bleu, la détection d'utilisation obtenue par un exemple de consolidation temporelle. C'est un signal crête qui prend comme valeur 0 ou 1.

La **zone 1** correspond à une perte éphémère de détection qu'il faut « boucher ». La **zone 2** correspond à des pics de probabilité associés à de FAUSSES détections qu'il faut filtrer.

Ces deux objectifs sont communs aux détections « À la main » et « À l'oreille », en revanche, le nombre d'utilisation « À la main » étant bien plus nombreuses, les méthodes mise en œuvre diffèrent légèrement.

CONSOLIDATION DES DETECTIONS « À LA MAIN »

La première étape est un seuillage sur la probabilité d'utilisation instantanée suivie d'une fusion des segments ainsi obtenus qui sont temporellement proches. Deux paramètres sont à déterminer :

1. Seuil de probabilité. Il s'agit du seuil appliqué à la probabilité en dessous duquel la détection de l'utilisation n'est pas retenue.
2. Durée minimale d'interruption. Il s'agit de la durée en dessous de laquelle une perte de détection d'utilisation est considérée comme accidentelle et donc ignorée. D'un point de vue du comportement de conducteur, cela correspond à la durée minimale d'interruption considéré comme plausible (temps nécessaire pour poser son téléphone, puis reprendre son téléphone)

Ces deux valeurs ont été réglées avec la méthode suivante :

- Annotation de 16h d'enregistrements continus correspondant à 31 trajets différents. Ces trajets ont été tirés au hasard, puis sélectionnés si qualifiés de « rentables », c'est-à-dire avec de nombreuses phases d'utilisations présumées. Cette estimation pouvant se faire en regardant le profil de la probabilité de détection par image.
- Calcul de la détection automatique consolidée en prenant 10 valeurs possibles de Seuil de probabilité, entre 0.5 et 0.95 et 40 valeurs possibles de Durée minimale d'interruption, entre 0.5s et 20s. Au total 400 consolidations temporelles sont donc testées.
- Sélection de la consolidation temporelle avec la meilleure cohérence moyenne avec le signal annoté.

Les paramètres ainsi sélectionnés sont une confiance minimum de 0.8 (Seuil de probabilité) et une fenêtre de consolidation temporelle de 10s (Durée minimale d'interruption). A noter que la fusion entre 2 segments permise par cette fenêtre n'est pas obligatoire, une détection « instantanée » sur plusieurs images consécutives est considérée également comme un segment.

Avec ces paramètres, on considère que 2 utilisations séparées de moins de 10 secondes sont en réalité une seule et même utilisation. Ce schéma d'utilisation saccadée a été observé à de multiples reprises, lorsque le conducteur garde son téléphone en main pour changer de vitesse au milieu d'une utilisation par exemple. Avec les paramètres choisis, on considère que l'utilisation n'a pas réellement cessé et a continué pendant l'interruption éphémère.

La deuxième étape consiste à filtrer les segments précédents afin d'écartier les détections trop courtes et/ou avec une confiance trop faible pour être considérés comme de vraies utilisations. Ce filtre s'effectue sur 2 critères :

1. Le score total, calculé en intégrant la probabilité par image sur la durée du segment. Plus un segment sera court plus son score total sera faible.
2. Le score moyen, calculé en divisant le score total par le nombre d'images considérées dans le segment.

Ces deux critères ont été établis à partir de leur distribution 2D sur les 91 762 segments détectés.

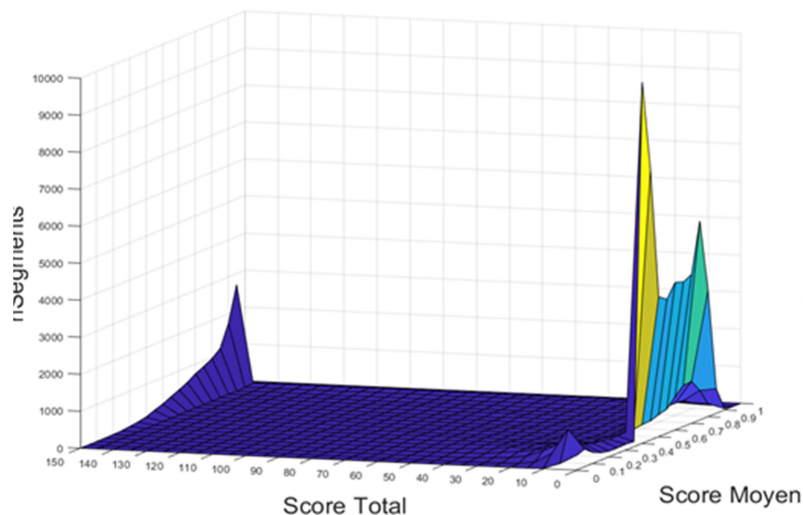


Figure 12 : Nombre de segments « À la main » en fonction du Score Total et Moyen

Plusieurs observations peuvent être menées à partir de ce graphique :

- A gauche, on retrouve les segments avec un score total important (>100) et qui ont également un score moyen élevé. Afin de pouvoir visualiser le nombre de ces segments, les scores totaux ont été maximisés à 150. Il s'agit d'utilisations dont la confiance est bonne, voir excellente et qu'il faut conserver.
- A droite au centre, un pic très important correspond aux utilisations avec un score moyen compris entre 0.4 et 0.8 pour un score total faible. Il s'agit des segments très courts avec 2 images ayant eu une bonne probabilité et entre ceux-ci des frames avec une probabilité basse. Il n'est évidemment pas possible d'utiliser ce téléphone sur des segments aussi court : ces détections sont à exclure.
- A droite, en plus du pic précédent, on retrouve une concentration de détections de très courte durée avec une confiance variable. Ici encore ce sont des détections trop éphémères pour être réalistes.
- A droite au premier plan, on retrouve un pic plus modeste correspondant à des segments avec une confiance moyenne faible (< 0.3) et un score total pouvant atteindre 20 (ce qui correspond à 3.5 s d'utilisation détectée avec une confiance de 50 %). On considère que la confiance moyenne est trop faible pour conserver ces détections.

En appliquant ces règles **21 440 utilisations** du smartphone « À la main » ont été détectées.

Fausses détections remarquables. Malgré la précision du modèle et les efforts en termes d'annotation et de post-traitement, tous les faux Positifs n'ont pu être écartés. Parmi ceux-ci on retrouve principalement 2 types de situations remarquables :

- Le conducteur manipule un objet qui n'est pas son smartphone. On aura alors typiquement un segment avec un bon score (supérieur à 100) et un Score moyen de l'ordre de 0.5 ou 0.6. Il est difficile d'exclure ces situations, car on risque d'exclure de nombreuses détections réussies et donc de diminuer fortement le rappel. Ci-après, un exemple de manipulation d'un « objet » un peu particulier, car le conducteur caresse son chat, entraînant un faux positif.

- L'ombre du volant sur la cuisse du conducteur peut former un motif qu'il est difficile de distinguer d'un smartphone, trompant l'algorithme de détection et parfois même un annotateur humain. Lors de phases de conduite en plein soleil, en milieu de journée et sur autoroute ce motif peut rester plusieurs dizaines de seconde de façon stable et est alors impossible à filtrer, ayant à la fois un excellent score total et moyen.



Figure 13 : Exemples de fausses détections dues à la manipulation d'un objet et à l'ombre du volant

CONSOLIDATION DES DETECTIONS « À L'OREILLE »

Nous avons adapté la méthode précédente pour mettre au point une consolidation temporelle de la détection « À l'oreille ».

En 1ère étape, on retrouve le seuillage et une fusion des segments proche dans le temps, de façon analogue à la détection « À la main ». 101 360 segments candidats sont ainsi obtenus.

En 2ème étape, on filtre les segments candidats avec des critères adaptés :

- Tous les segments ayant un score inférieur à 100 (moins de 8s à 100% de confiance) sont écartés. Cela concerne une vaste majorité des candidats ;
- On utilise en complément la détection « À la main » pour valider une utilisation « À l'oreille », en considérant que l'usage à la main a consisté à composer le numéro (ou plus probablement à choisir le contact) ou à décrocher. Evidemment cette utilisation n'est pas nécessaire (50% des appels sont reçus et donc n'ont pas d'étape de composition) mais elle peut être suffisante si la confiance intrinsèque de l'utilisation est satisfaisante. Ainsi, si une l'utilisation « À l'oreille » a un score moyen > 0.7 et qu'une utilisation « À la main » est détectée dans les 20s avant ou après, on conserve l'utilisation « À l'oreille ».

A l'issue de cette étape de filtrage on obtient la répartition des segments candidats représentée dans la Table 5 ci-dessous.

Table 5 : Filtrage des détections d'utilisation « À l'oreille »

Filtrés	99 471
Conservés	954
Indéfinis, (Post annotés manuellement)	935

Ces filtres donnent 935 segments Indéfinis qu'il a été possible d'annoter à la main. A l'issue de cette annotation, 347 vraies détections ont été conservées. En s'ajoutant aux 954 conservées suite au filtrage, on obtient un total de **1301 utilisations « À l'oreille » du smartphone détectées sur la base.**

2.3. CARACTERISATION DU CONTEXTE ROUTIER

Les données disponibles dans la base correspondent à l'évolution temporelle de plusieurs centaines de variables « brutes » (e.g., vitesse, angle volant ...), pour certaines à haute fréquence, pendant les dizaines de milliers d'heures de roulage accumulées. La réalisation de chaque étude spécifique nécessite de combiner ou fusionner de nombreuses variables, de manière à obtenir des paramètres de « haut niveau », exploitables pour analyse. Les situations d'intérêt doivent être détectées puis caractérisées, en général via une combinaison d'indicateurs calculés et d'indicateurs annotés manuellement grâce à l'examen des vidéos.

Les données sont exploitées grâce à l'outil SALSAs, développement interne du CEESAR, désormais adopté par plusieurs acteurs du monde des transports. SALSAs permet de requêter et visualiser les données à la demande, mais aussi de développer et d'appliquer des algorithmes sur l'ensemble d'une base de données de roulage, ainsi que d'annoter, manuellement ou automatiquement, les données.

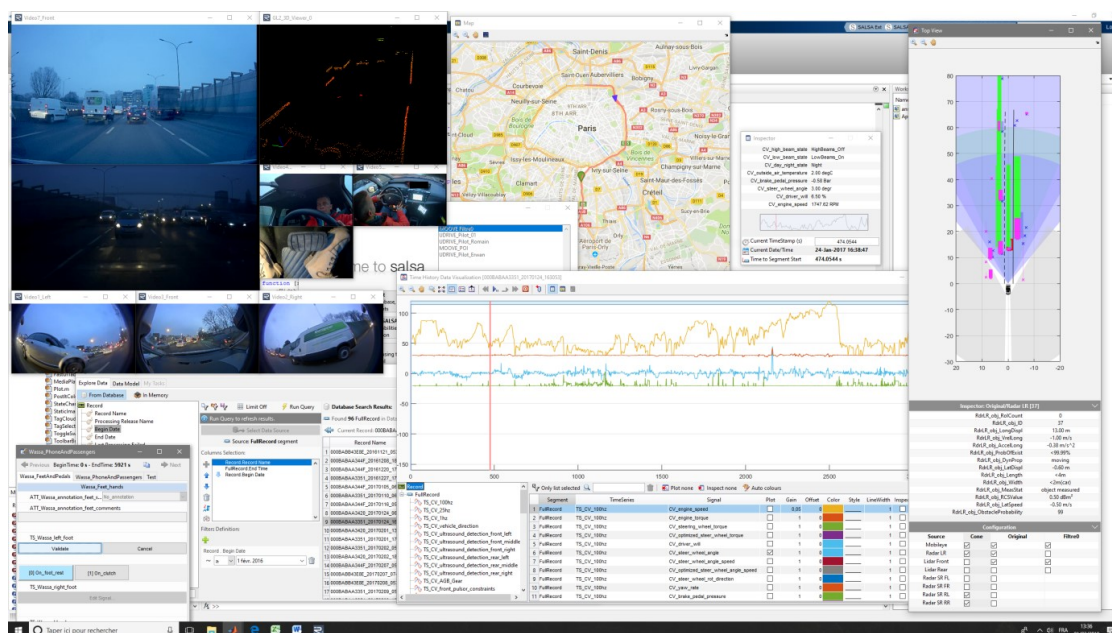


Figure 14 : Capture d'écran de l'outil SALSAs

Afin d'exploiter la base de données UDRIVE pour les besoins du projet USCOMA, un projet spécifique a été créé dans l'environnement. Il comprend l'ensemble des traitements et des annotations réalisés pour cette étude. Grâce à cet outil, plusieurs algorithmes ont été développés et déployés sur l'intégralité de la base afin d'obtenir une caractérisation en temps réel du contexte routier.

Dans la suite du rapport, le véhicule instrumenté, pour lequel les données internes et d'environnement sont enregistrées, est désigné comme « **égo-véhicule** ».

Les indicateurs utilisés pour l'étude USCOMA, et les principes des algorithmes utilisés pour calculer si nécessaire leurs différentes modalités, sont listés dans le tableau ci-dessous et détaillés dans les sous-parties suivantes.

Table 6 : Indicateurs utilisés pour la description du contexte routier

	Nom de l'indicateur	Modalité/ unité de l'indicateur	Commentaire
Infrastructure	Type de route	- Urbain - Rural - Autoroute urbaine - Autoroute rurale	
	Vitesse Maximale Autorisée (VMA)	Km/h	
	Virage	Oui/Non	Détection d'un changement de direction dans la <i>trajectoire</i> de l'égo-véhicule
	Sinuosité	Nombre de virages	Nombre de virages sur une fenêtre glissante de 1km
Vitesse et Traffic	Vitesse du véhicule	Km/h	
	Raison de l'arrêt du véhicule	- en détresse - feu rouge - Début/fin d'enregistrement - Garé - Arrêt derrière un véhicule - Arrêt libre	
	Congestion	Oui /Non	
Familiarité du trajet	Familiarité du trajet	- Peu familier - Familier - Quotidien	Estimation de la familiarité du tronçon en fonction du nombre de passages du-de la conducteur-trice pendant la durée de l'étude.
Sécurité	Temps Inter Véhicule (TIV)	Secondes	Temps nécessaire à l'égo-véhicule pour rattraper l'obstacle le précédent
	Temps à collision, ou « Time To Collision » (TTC)	Secondes	Temps restant jusqu'à l'apparition d'une collision frontale à l'avant si aucune mesure n'est entreprise.
	Avertissement sécurité latérale	Oui/Non	Avertissement déclenché par la camera Mobileye lorsque l'égo-véhicule se déporte latéralement sans clignotant (filtrage des changements de voie volontaire de la part du conducteur)
	Avertissement sécurité longitudinale	Oui/Non	Avertissement déclenché par la camera Mobileye lorsque qu'elle détecte un risque de collision frontale

Ces facteurs seront utilisés pour étudier les conditions d'utilisation du téléphone (infrastructure, vitesse de l'égo-véhicule...), pour reconnaître les scénarios typiques de manipulation du smartphone et pour étudier l'impact de l'utilisation sur la conduite (sécurité).

La vitesse du véhicule était déjà disponible. Les autres indicateurs ont en revanche nécessité un travail d'enrichissement de la base de données, détaillé ci-dessous.

2.3.1. CARACTERISATION DE L'INFRASTRUCTURE

Une base de données géographique fournie par la société spécialisée HERE est interrogée avec l'historique des positions du véhicule (latitude et longitude fournies par le GNSS) afin :

1. D'identifier sur quel tronçon de route évolue l'égo-véhicule
2. De fournir un certain nombre d'attributs liés à ce tronçon, parmi lesquels :
 - Vitesse Limite
 - Vitesse moyenne habituelle des utilisateurs sur ce tronçon
 - Nombre de voies de circulation
 - Sens interdit ou non
 - Panneaux de signalisation (signalisation verticale)
 - Présence d'une intersection
 - Catégorie de la route (primaire, secondaire, ...)
 - Nom de la route
 - Infrastructure spéciale :
 - Bretonne d'accès/sortie
 - Rond-point

TYPE DE ROUTE

L'objectif de cette contextualisation est de catégoriser le type d'infrastructure sur laquelle évolue l'égo-véhicule en temps réel. Cette catégorisation a été mise au point sur la base UDRIVE Europe et est basée sur des critères communs aux différents pays et présents dans la base de données géographique (Vitesse Maximale Autorisée, Type de zone renseignée dans la BDD cartographique...) plutôt que sur des critères réglementaires propre à la France. L'objectif est de catégoriser l'environnement de conduite selon le « ressenti » conducteur-trice et le type de situation qu'il-elle est susceptible de rencontrer. Les catégories suivantes sont identifiées :

- « Rural »
 - La route est située dans une zone RURALE
 - La catégorie de la route n'est PAS considérée comme PRIMAIRE
- « Urbain » :
 - La Vitesse Maximale Autorisée (VMA) est égale ou inférieure à 50km/h
 - La VMA est égale ou inférieure à 70km/h ET la route n'est pas dans une zone RURALE ET n'est pas PRIMAIRE
- « Autoroute rurale »
 - La VMA est supérieure ou égale à 110 km/h

- Le type d'infrastructure renseignée dans la base de données est explicitement « MOTORWAY » ET la zone est RURALE
- « Autoroute urbaine »
 - Le type d'infrastructure renseignée dans la base de données est explicitement « MOTORWAY » ET la zone n'est pas RURALE.

Ces catégories couvrent plus de 90% de la base de données, le reste étant inconnu. On note que la catégorie « Autoroute rurale » ou « Autoroute urbaine » comprend les routes dont la VMA est supérieure ou égale à 110km/h et inclut donc certains tronçons de routes nationales en France.

VIRAGE ET SINUOSITE

Les mesures dynamiques embarquées dans l'égo-véhicule permettent de caractériser sa trajectoire qui peut être associée à celle de l'infrastructure dans le cas de **virages**.

On considère qu'un virage existe lorsque l'accélération latérale est maintenue à 1 m.s⁻² au moins, pendant une période qui voit l'orientation du véhicule changer d'au moins 30°. L'accélération latérale est obtenue à partir de la vitesse longitudinale et de la vitesse de lacet (formule de Frenet) ; la variation d'orientation est obtenue par intégration de la vitesse de lacet.

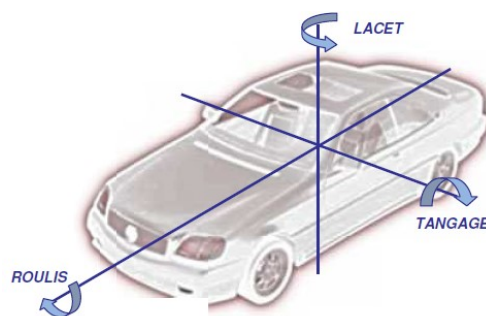


Figure 15 : Schéma orientation véhicule

La détection de virage permet de calculer en temps réel si le véhicule est en virage, ou non. A partir de cet indicateur, est calculée la **sinuosité**, correspondant au nombre de virages **différents** rencontrés par l'égo-véhicule dans une fenêtre glissante de 1 km de large.

2.3.2. ARRET DE L'EGO-VEHICULE

Lorsque le véhicule a une vitesse nulle, nous cherchons à obtenir la raison de cet arrêt. En effet, les études rapportées de la littérature et le visionnage des séquences pendant l'analyse des données ont montré un nombre important d'utilisations à l'arrêt du véhicule. Les catégories suivantes sont identifiées :

1. **Arrêt en détresse.** Le conducteur a utilisé ses feux de détresse
2. **Arrêt à un feu rouge.** Le conducteur s'arrête à moins de 60 m d'un feu, dont il s'approchera à moins de 15 m (présence des feux tricolores connue grâce à la base de données géographique).
3. **Début et fin d'enregistrement.** Phase d'arrêt avant de démarrer pour la première fois dans l'enregistrement, ou après s'être arrêté pour la dernière fois.

4. **Garé.** Le conducteur a enclenché au moins 1 fois la marche arrière 10 m avant ou 10 m après s'être arrêté (ce qui permet de détecter les manœuvres de parking).
5. **Arrêt derrière un véhicule :** Le conducteur s'arrête à moins de 10 m d'un autre véhicule le précédent (typiquement, l'arrêt en bouchon).
6. **Arrêt libre,** sans raison identifiée. Cette modalité se rapproche de l'arrêt garé, mais sans marche arrière enclenchée pour rentrer et/ou sortir de la place de stationnement.

A noter que ces raisons ne sont pas mutuellement exclusives (il est fréquent de s'arrêter derrière un véhicule à un feu par exemple). Un ordre de priorité est donc donné, correspondant au numéro de chaque catégorie dans la liste précédente. Ainsi, par exemple, un arrêt avec utilisation des feux de détresse sera toujours catégorisé comme « en détresse » même s'il a lieu derrière un véhicule.

2.3.3. CONGESTION

La présence ou non d'un bouchon est détectée en utilisant la vitesse de l'égo-véhicule, la vitesse moyenne habituelle sur ce tronçon (issue de la base de données géographique) et la détection d'un véhicule dans la voie de circulation de l'égo-véhicule.

On considère que l'égo-véhicule est dans un bouchon si sa vitesse est inférieure à 40% de la vitesse moyenne habituelle du tronçon et qu'un véhicule le précède. Ces conditions sont vérifiées sur une fenêtre glissante de 2 minutes de large. Si elles sont VRAI à au moins 50% on considère que l'Ego véhicule est en bouchon. Cette méthode de calcul « rabote » la durée effective des bouchons en excluant de fait les phases d'arrivée sur bouchon et de redémarrage avec ré-augmentation de la vitesse de l'égo-véhicule

Cet algorithme est également sensible aux réductions de vitesse de l'égo-véhicule quel que soit les facteurs (arrêt à une intersection, changement de route, virage dangereux), bien que cette sensibilité soit réduite par un important filtrage sur la vitesse et l'application d'hysteresis sur les variables discrètes utilisées (vitesse moyenne constatée, présence d'un véhicule à l'avant). Une vitesse réduite est également souvent le fait du véhicule juste devant l'égo-véhicule et elle est subie lorsque l'Ego véhicule est dans l'incapacité (légale ou sécuritaire) d'effectuer un dépassement. Pour autant, ces situations ne correspondent pas toujours à un bouchon. Pour ces raisons la congestion du trafic ne sera étudiée que sur les types de route « Autoroute rurale » et « Autoroute urbaine » (cf. Type de route, page 30) où l'indicateur est considéré robuste.

2.3.4. CONNAISSANCE DU PARCOURS

La familiarité du-de la conducteur-riche avec le tronçon courant peut être estimée en analysant l'historique entier de notre base de données, et en calculant pour chaque tronçon :

- Combien de fois le-la conducteur-trice est passé-e sur ce tronçon sur la période enregistrée ?
- A combien de passage par mois cela correspond, en fonction du nombre de passage et de la durée de la contribution à l'étude de ce-tte conducteur-trice en particulier.

A noter que l'historique nous permet d'estimer uniquement le nombre minimum de passages par tronçon par conducteur, pendant la durée de l'étude. En effet les participants à l'étude ont pu emprunter les tronçons avant l'étude, ou même pendant l'étude avec un autre véhicule.

En fonction de cette estimation, nous avons défini 3 catégories de familiarité du tronçon actuel, en fonction du nombre total de passages ou du nombre de passages par mois, **pendant la durée de l'étude**.

- **Peu familier** : Moins de 10 passages en tout ou en moyenne moins d'un passage par mois,
- **Familier** : plus de 10 passages en tout,
- **Quotidien** : plus de 100 passages en tout ou en moyenne plus de 15 passages par mois.

A noter également que cet indicateur évolue au cours du temps à chaque tronçon parcouru. Il est possible qu'un trajet démarre par un passage très bien connu avant de s'engager sur un passage inconnu (départ en vacances depuis le domicile par exemple)

2.3.5. INTERVALLES DE SECURITE

TEMPS INTER VEHICULE (TIV)

Le Temps Inter-Véhicule (TIV) correspondant au temps nécessaire à l'égo-véhicule pour parcourir la distance qui le sépare du premier obstacle le précédant dans sa voie. Cet obstacle est désigné par son acronyme anglais CIPV, pour « *Closest In Path Vehicle* ».

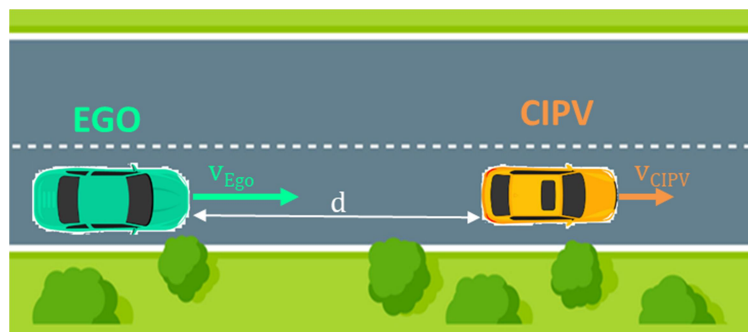


Figure 16 : Schéma Suivre de cible

Le TIV est calculé à l'aide de la relation suivante :

Où :

$$TIV = \frac{d}{V_{Ego}}$$

- d : distance (m)
- V_{ego} : Vitesse instantanée absolue de l'Égo-véhicule ($m.s^{-1}$)

La distance de sécurité préconisée par la sécurité routière, notamment sur autoroute est d'un TIV supérieur ou égal à 2s. On note qu'un TIV est défini uniquement si une cible est détectée et que la vitesse de l'égo-véhicule est supérieure à 0 km/h.

TEMPS À COLLISION - TIME TO COLLISION (TTC)

On se place dans la même situation que la Figure 16. Le temps à collision, désigné par son acronyme anglais TTC pour *Time To Collision*, se définit comme la durée restante avant une collision avec l'obstacle, en l'absence de réaction de la part de l'égo. Bien heureusement, dans l'écrasante majorité

des cas, un TTC, même faible ne se traduit pas par une collision, justement parce que des mesures d'évitements (freinage, évitement) sont entreprises.

Pour les besoins de l'étude, nous choisissons de prendre en compte pour le calcul la vitesse relative de l'égo-véhicule par rapport au CIPV ainsi que l'accélération instantanée de l'égo-véhicule. Le problème consiste à résoudre l'équation différentielle du second degré suivante :

$\frac{dx(t)^2}{dt^2} + \frac{dx(t)}{dt} + x(t) - d = 0$, avec $x(t)$ la distance entre l'égo-véhicule et du CIPV au cours du temps.

La résolution de cette équation donne la relation suivante :

$$TTC = \frac{V_{Rel} + \sqrt{V_{Rel}^2 + 2 * A * d}}{A}$$

A noter que ce TTC peut-être infini, si la vitesse instantanée du CIPV est supérieure ou égale à celle de l'égo-véhicule.

2.3.6. AVERTISSEMENT DE SECURITE

La caméra intelligente Mobileye est un équipement qui permet de caractériser automatiquement certains aspects de l'environnement comme les véhicules à l'avant de l'égo-véhicule, ou la position de celui-ci par rapport aux marquages au sol. En 2021, Mobileye annonce que leurs différents modèles sont utilisés dans plus de 100 millions de véhicule à travers le monde (site officiel <https://www.mobileye.com/>). Parmi les fonctions offertes par le modèle EyeQ2 utilisé pour l'acquisition de la base UDRIVE, on retrouve la génération d'avertissements de collision frontale et de franchissement latéral. Lorsqu'elle est installée de série, la caméra peut transmettre ces avertissements à l'ordinateur de bord qui choisit ou non de les communiquer au conducteur-trice par un bip sonore ou un pictogramme sur le tableau de bord par exemple.

Dans notre instrumentation, le Mobileye ne communique pas avec les interfaces homme-machine du véhicule, mais ses données sont collectées. Les alertes produites par le système n'ont donc pas été communiquées au à la conducteur-trice, mais ont été enregistrées avec le reste des données. C'est un indice pertinent pour détecter certaines situations qui auraient pu être signalées comme présentant un risque et nécessitant l'attention du conducteur.

Deux alertes sont analysées pour le projet USCOMA : le « *Lane Departure Warning* » (LDW) qui traite les alertes de franchissement latéral, et le « *Forward Collision Warning* » (FCW) qui concerne le risque de collision frontale avec l'obstacle précédant l'égo-véhicule.

AVERTISSEMENT DE SECURITE LATERALE (LANE DEPARTURE WARNING)

Le LDW est une alerte signalant un franchissement de ligne non signalé par le conducteur (c'est-à-dire sans utilisation du clignotant). Il se déclenche lorsque le système détecte un écart significatif entre la position latérale de l'égo-véhicule et le milieu de la voie. Afin de ne conserver que les alertes correspondant à des franchissements réellement involontaires de la ligne, les LDW intervenant pendant un changement de voie complet de l'égo-véhicule sont exclus.

AVERTISSEMENT DE SECURITE LONGITUDINALE (FORWARD COLLISION WARNING)

Le FCW intervient quand le système détecte un obstacle dont l'avant de l'égo-véhicule s'approche dangereusement. Afin de n'analyser que les FCW les plus critiques, on conserve ceux présentant les caractéristiques suivantes :

- TTC minimal de 4s
- Vitesse de l'égo-véhicule de 5km /h au moins au début de l'alerte
- Réduction de la vitesse de l'égo-véhicule d'au moins 2 km/h durant la durée de l'alerte.

2.4. DEFINITION DE LA BASE « EN CIRCULATION »

Les données UDRIVE ont été acquises avec un système embarqué d'acquisition de données démarrant l'enregistrement environ 60 s après la mise du contact du véhicule et s'arrêtant peu après l'extinction de celui-ci. Ainsi, c'est la quasi-intégralité des activités menés dans les véhicules qui ont été enregistrées, à condition que le contact du véhicule soit mis. Cela comprend évidemment la conduite, mais pas exclusivement. Or, l'objectif de cette étude est de se concentrer sur l'utilisation du smartphone au volant, et des conséquences de celle-ci sur la sécurité routière. On souhaite donc distinguer les phases de conduite des phases d'arrêt *hors circulation*, en utilisant pour ce faire l'enrichissement de la base précédemment détaillé et plus particulièrement la caractérisation des arrêts de l'égo-véhicule.

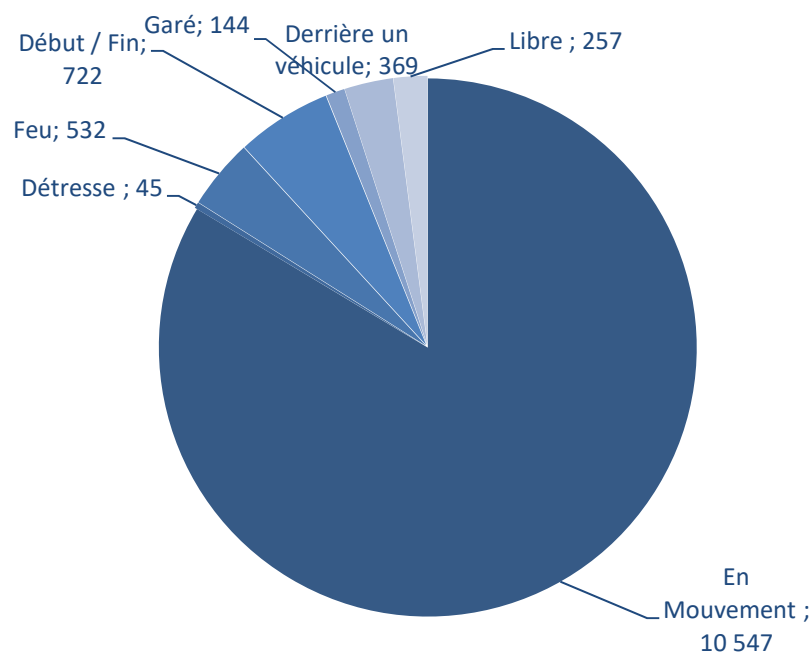


Figure 17 : Nombres d'heures enregistrées en fonction des phases de mouvement et d'arrêts

En plus des phases de mouvements, on peut identifier 2 « familles » de raison d'arrêt :

1. Les arrêts en phase de conduite. Il s'agit des arrêts dans la circulation : cela comprend **Détresse**, **Feu** et **Derrière un véhicule**
2. Les arrêts hors phase de conduite. Il s'agit des arrêts de stationnement du conducteur hors conduite. Cela comprend **Début / Fin**, **Garé** et **Libre**.

En fonction du comportement des usagers, un enregistrement peut démarrer par une phase de conduite active, avec une vitesse non nulle, ou au contraire par une phase de stationnement pouvant durer plusieurs minutes. La répartition du nombre d'enregistrements en fonction de la durée de phase d'arrêt au début de l'enregistrement est représentée dans la Figure 18 ci-après.

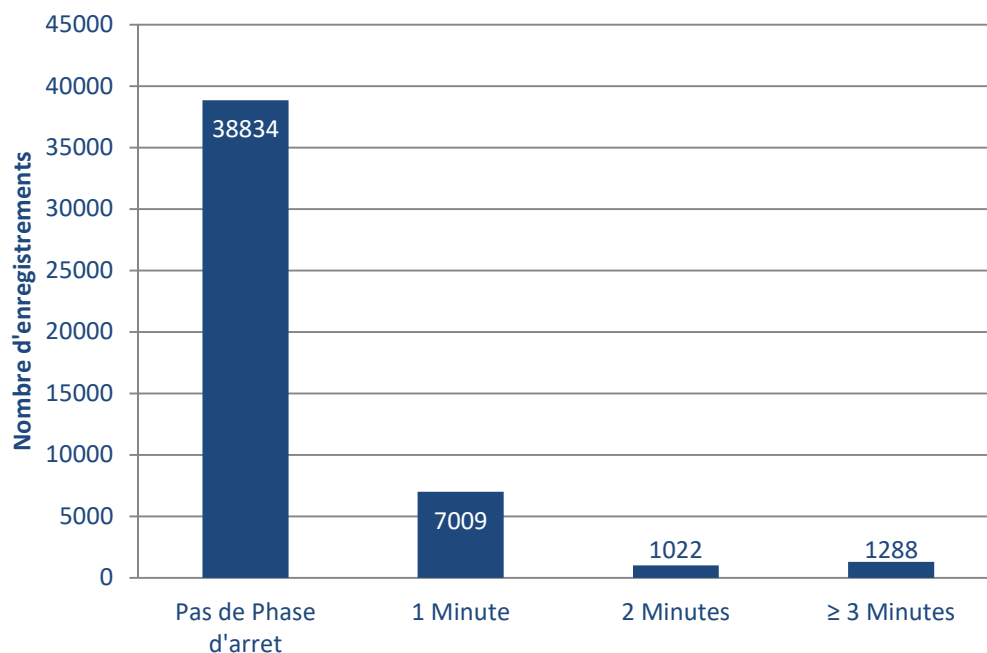


Figure 18 : Nombre d'enregistrements selon la durée de la phase d'arrêt au commencement

Durant cette phase « non active », le-la conducteur-trice n'a pas encore initié-e de tâche de conduite. Son comportement, et notamment son utilisation éventuelle du téléphone durant cette phase est donc à dissocier d'une utilisation en phase de conduite active. Pour l'analyse des facteurs favorisant l'utilisation du téléphone au volant, il paraît donc pertinent d'exclure ces phases. De même, au cours d'un enregistrement, un conducteur peut être amené à stationner de façon prolongée et ainsi quitter une phase de conduite active. Le conducteur peut alors choisir de couper le contact, et de le rallumer au moment de repartir, produisant ainsi 2 enregistrements excluant la phase de stationnement. Il peut au contraire choisir de laisser le contact, obtenant ainsi un enregistrement unique comprenant toute la phase de stationnement. Ce choix peut être dû à de nombreux facteurs (essence restante, température extérieure, sensibilité aux problématiques environnementales...) que nous ne maîtrisons pas. Le comportement durant cette phase est donc également à dissocier des phases de conduite active. Enfin, les arrêts libres sans aucune contrainte sont également considérés comme des stationnements hors phase de conduite.

Pour la suite de notre étude nous distinguerons donc 2 bases : la **base « complète »** avec l'intégralité des 12 500 heures de la base UDRIVE France ; la **base « en circulation »** qui comprend les phases en mouvement et d'arrêt en circulation (en feux de détresse, à un feu, derrière un véhicule).

C'est sur cette base que se portera l'analyse des facteurs.

3. ANALYSES ET RESULTATS

3.1. UTILISATION MESUREE DU TELEPHONE

L'annotation automatique par reconnaissance d'images, accompagnée de la consolidation temporelle décrite dans la partie précédente (Détection automatique de l'utilisation du téléphone, page 15) a permis de détecter sur la base complète 21 440 Phases d'utilisation « à la main » et 1301 phases d'utilisation « à l'oreille ». La mesure sur la base « en circulation », excluant les moments de stationnement, montre une baisse significative de l'usage du téléphone, presque de moitié. **Cela indique déjà qu'une partie importante de l'usage se déroule lors d'arrêts sécurisés.** Ces données sont récapitulées dans la Table 7 ci-dessous.

Table 7 : Nombre d'Utilisations détectées sur les bases « complète » et en « circulation »

Type d'utilisation	Base	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'utilisation (%)
« À la main »	Complète	21 440	172.25	1.69	1.36
	En circulation	12 856	88.09	1.12	0.76
« À l'oreille »	Complète	1301	21.38	0.10	0.17
	En circulation	532	9.28	0.046	0.08

Les utilisations « À la main » sont plus de 24 fois plus fréquente et totalisent une durée d'utilisation environ 10 fois plus élevée. Il apparait donc que la durée des manipulations varie entre les modalités. La distribution des durées pour chacun des types d'utilisation est représentée Figure 19 ci-après.

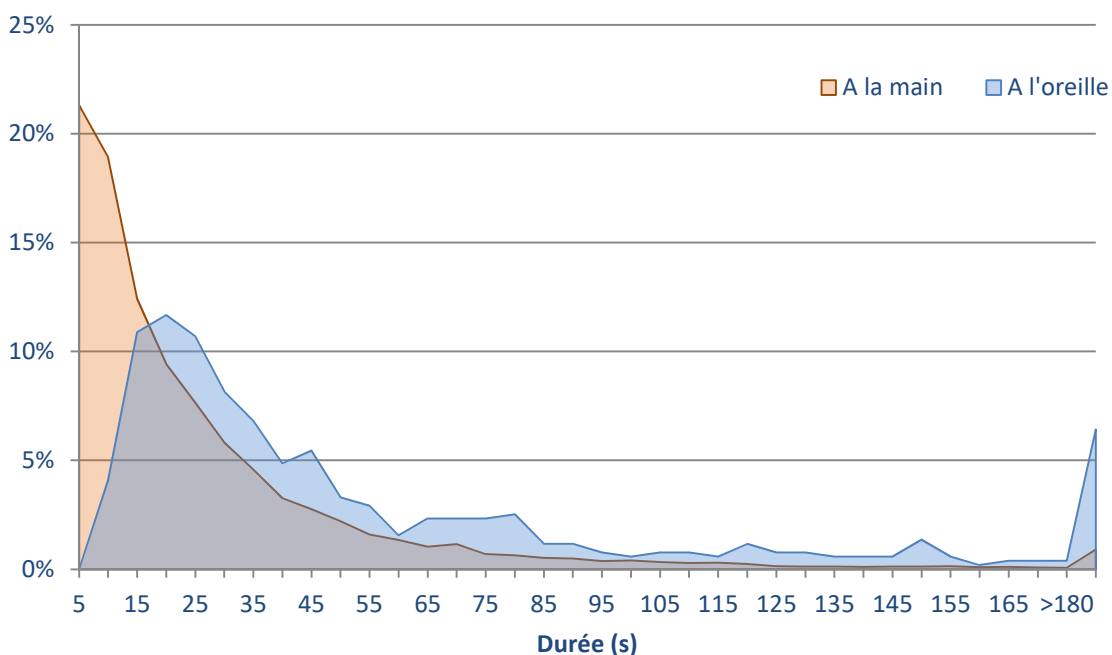


Figure 19 : Proportion d'utilisations en circulation en fonction de la durée

On observe comme attendu un décalage vers la droite de la courbe des utilisations « à l'oreille », ce qui correspond à une durée d'utilisation plus longue pour cette modalité. Cela est particulièrement visible pour les utilisations de moins de 5 secondes qui constituent la durée la plus fréquente des utilisations « à la main ». En résulte une durée moyenne et médiane de, respectivement, 25 s et 14s pour les utilisations « à la main », contre 61s et 27s pour les utilisations « à l'oreille ».

Afin d'analyser la prévalence de l'utilisation du smartphone, deux critères sont privilégiés :

- **La fréquence d'utilisation.** Il s'agit du nombre d'utilisations réalisées en une heure de conduite, indépendamment de leur durée.
- **La proportion de temps passé en utilisation,** en pourcentage. Il s'agit du rapport entre le temps d'utilisation du téléphone sur le temps total de roulage. Cet indicateur à l'avantage d'être robuste aux pertes éphémères de détection d'utilisation, mais ne permet pas de distinguer les tâches longues mais rares des tâches courtes et fréquentes.

Les résultats obtenus avec ce dernier indicateur peuvent être comparés aux résultats de l'étude (Carsten, 2017), basée sur une annotation manuelle d'un échantillon de la base de données UDRIVE, dont on reproduit Table 8 ci-dessous les résultats pour la France.

Table 8 : Comparaison du nombre d'Utilisations détectées avec l'étude (Carsten, 2017)

	Heures Annotées	Utilisation du téléphone (% du temps de conduite)							
		Total	Saisie du téléphone	Usage main libre	Appel main libre	Appel à la main	Manipulation à la main		
							Tenu	Utilisation	Lecture
		Total	Reach For	HF Int	HF conv	HH conv	Hold	HH int	HH read
étude (Carsten, 2017)	58 h	3.48%	0.08%	0.83%	1.92%	0.01%	0.15%	0.43%	0.05%
USCOMA base complète	12 626 h	1.53%	NA	NA	NA	0.17%	1.36%		
USCOMA en circulation	11 529 h	0.84%	NA	NA	NA	0.08%	0.76%		

L'annotation automatique ne détecte qu'une partie des utilisations du téléphone. Sur ces catégories, elle remonte un taux d'utilisation plus important que les annotations manuelles des quelques trajets sélectionnés. Ainsi, sur l'ensemble des utilisations à la main, l'utilisation mesurée est de 1.36 % du temps sur la base complète et de 0.76 % du temps en circulation, contre 0.63 % pour l'étude (Carsten, 2017) (0.15 + 0.43 + 0.05). L'utilisation à l'oreille est de 0.17 % sur la base complète et de 0.08 % en circulation, contre 0.01 % pour l'étude (Carsten, 2017). A noter que le total de la mesure d'utilisation n'est pas comparable entre cette étude et la présente étude, où l'on ne détecte pas et donc ne comptabilise pas les types d'utilisations indiquées « NA ».

Un premier facteur explicatif de ces différences se trouve dans les critères de sélection des trajets dans l'étude UDRIVE, qui se rapprochent de ceux de la base « en circulation ». En effet, la partie annotée dans UDRIVE excluait les parties à l'arrêt « début et fin d'enregistrement » (à part les éventuelles 10 sec juste avant le premier démarrage et juste après le dernier arrêt). Les 0.63 % d'utilisation à la main se rapprochent alors des 0.76 % trouvés dans nos analyses.

En ce qui concerne la mesure de l'utilisation à l'oreille, un autre facteur explicatif semble lié au nombre très limité d'utilisations trouvées. Ainsi, les 0.01 % d'utilisation à l'oreille trouvés dans (Carsten, 2017) sur les 58 heures d'annotation correspondent à une durée de 21 secondes...

Cette comparaison montre bien l'intérêt de la **systematicité** de l'annotation automatique sur le volume d'utilisations identifiées pour obtenir un volume de données suffisant sur un évènement aussi « rare » que l'utilisation du téléphone à l'oreille.

3.2. VARIABILITE ENTRE LES CONDUCTEUR·TRICE·S

La première question de recherche adressée concerne les différences d'utilisation détectées entre les 43 conducteurs et conductrices qui ont participé à l'étude UDRIVE en France. Il est ainsi possible de montrer la grande variabilité des usages selon les conducteur·trice·s, tant dans le nombre de kilomètres et d'heures de roulage réalisés que dans l'usage du téléphone. Les graphiques Figure 20 et Figure 21 ci-après mettent en regard ces mesures, pour les 43 conducteur·trice·s positionné·e·s sur l'axe des abscisses.

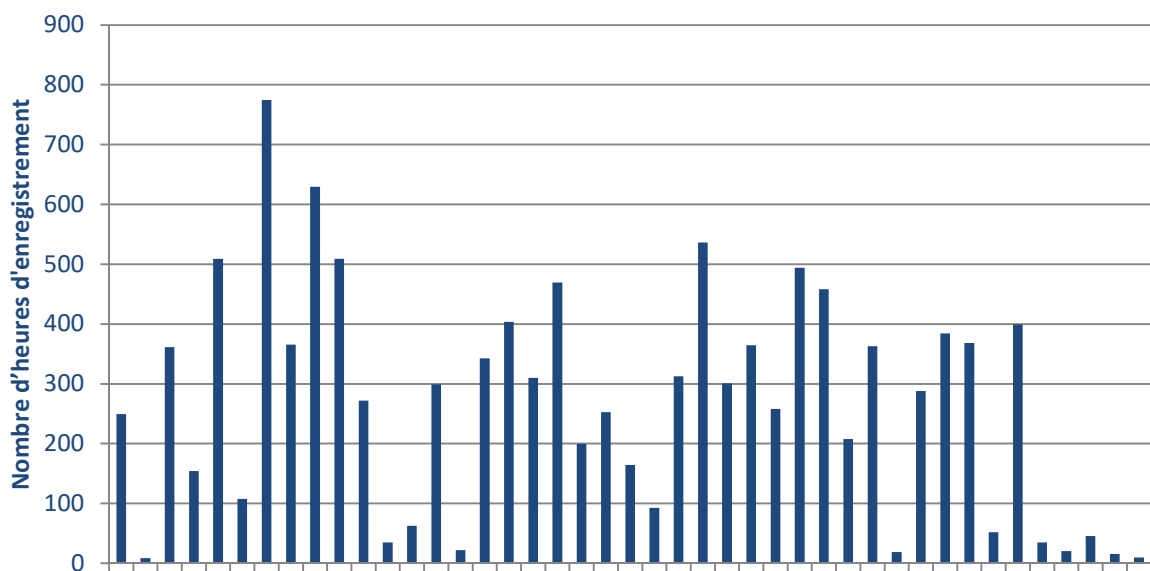


Figure 20 : Nombre d'heures d'enregistrement par conducteur·trice

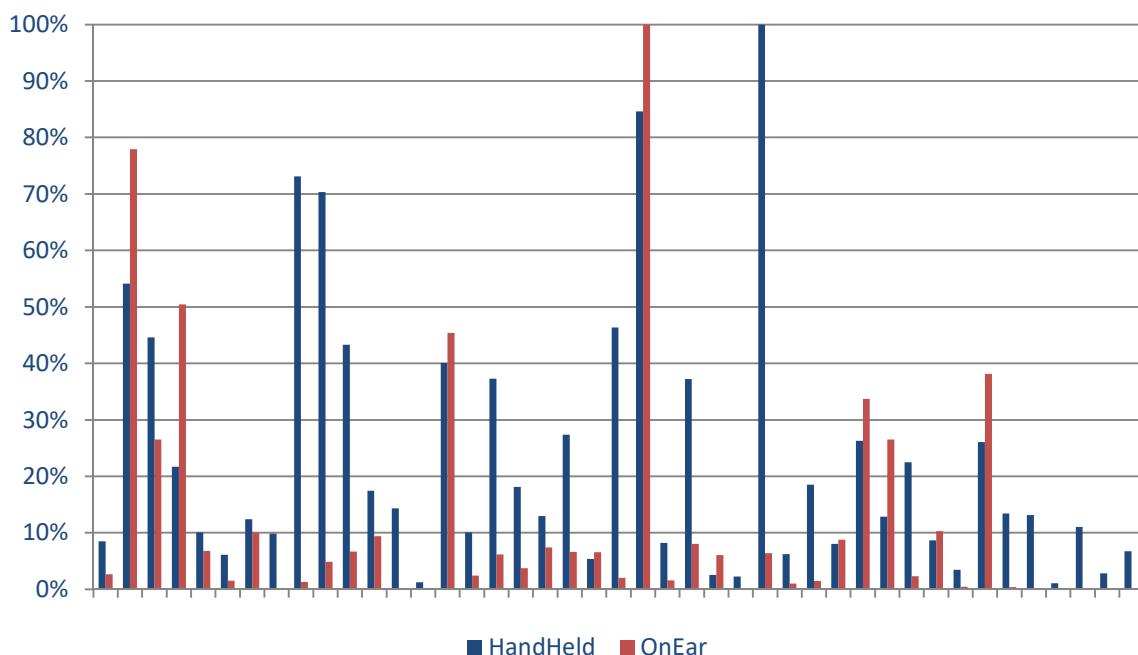


Figure 21 : Ratio (%) entre la fréquence d'utilisation du smartphone par conducteur·trice et la fréquence maximale observée.

3.2.1. INEGALITE D'UTILISATION

Il apparaît d'emblée que la fréquence d'utilisation n'est pas corrélée au volume de conduite. Le deuxième conducteur apparaît rouler très peu, en tout cas avec le véhicule instrumenté, mais présente en revanche des fréquences importantes d'utilisation « À la main » et « À l'oreille » (au-delà de 50% des plus hauts scores). Le septième conducteur à l'inverse est un gros rouleur mais avec des fréquences proches de 10% seulement des plus hauts scores. L'utilisation du téléphone à l'oreille, outre un volume horaire nettement inférieur est aussi un usage moins partagé.

Afin de quantifier cette inégalité d'utilisation on se propose d'étudier la courbe de Lorenz associée aux distributions de la fréquence d'utilisations du smartphone par conducteur·trice représentée dans la Figure 22 ci-après.

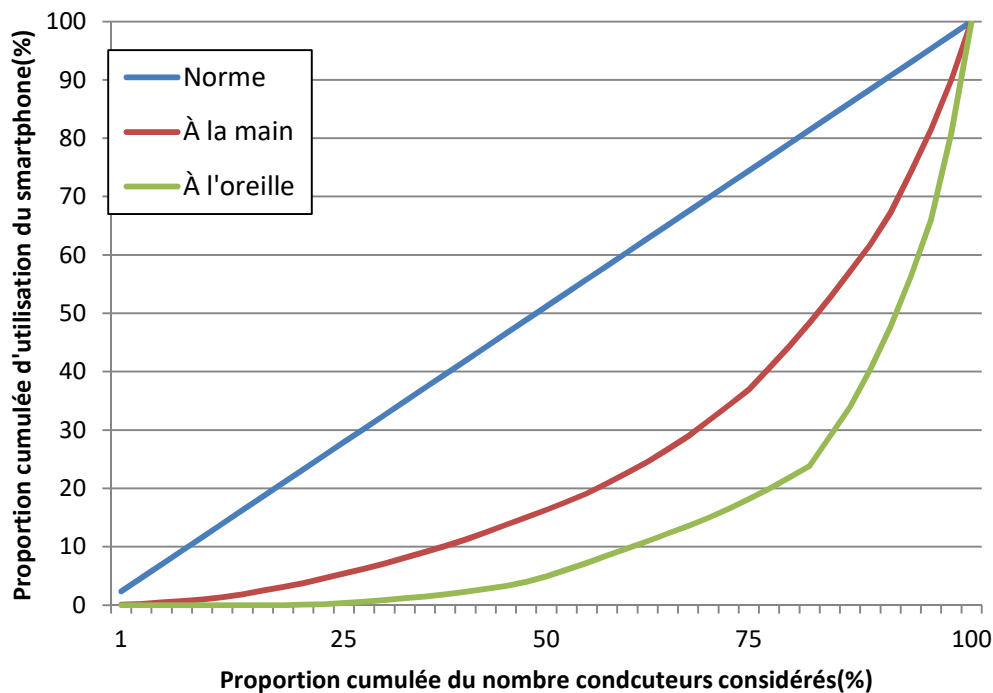


Figure 22: Courbe de Lorenz sur la répartition du nombre d'utilisations entre les conducteurs

La courbe bleu « Norme » correspond à une distribution théorique parfaitement équitable. Pour une telle distribution, les 50 % des conducteur-trice-s ayant le moins utilisés leur téléphone ont contribué à 50 % des utilisations totales. Pour les utilisations « À la main » et « À l'oreille » les 50 % qui ont le moins utilisé leur téléphone ont contribué respectivement à 15 % et 5 % des utilisations totales. Le degré d'inégalité d'une distribution est estimé avec le coefficient de Gini, qui correspond à la surface entre la courbe de la distribution et la courbe « Norme ». Plus une distribution est inégale, plus le coefficient de Gini est élevé. Ce dernier prend comme valeur respectivement 0.48 et 0.69 pour la distribution « À la main » et « À l'oreille » ce qui correspond à des distributions très inégalitaires.

3.2.2. DIFFERENCES D'UTILISATION PAR CONDUCTEUR

On cherche à déterminer si les utilisateur-trice-s fréquent-e-s du smartphone en mode « À la main » sont les mêmes que pour le mode « À l'oreille ». Dans la Figure 23 ci-après, on représente le nuage de points de la fréquence moyenne d'utilisation en mode « À l'oreille » en fonction de la fréquence d'utilisation en mode « À la main ».

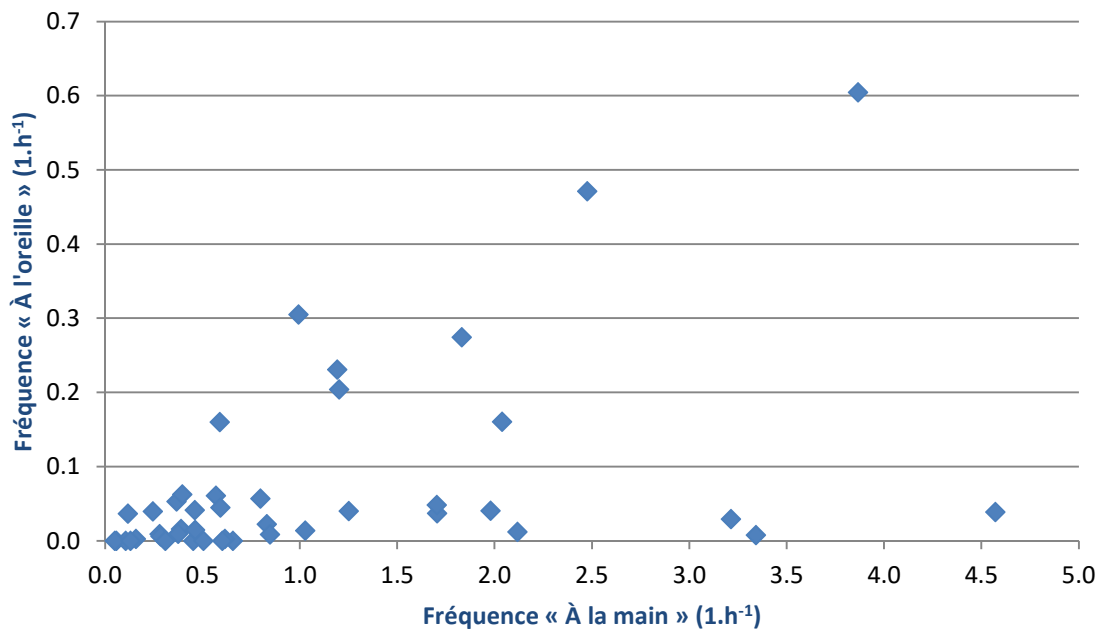


Figure 23: Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction de Fréquence d'utilisation « À la main », par conducteur

A partir de ce graphique, trois populations d'utilisateur-trice-s peuvent être distinguées :

- Ceux-elles qui utilisent peu leur téléphone de façon générale. Cela correspond au coin en bas à gauche du graphique. Ainsi, 60 % des conducteur-trice-s utilisent moins de 0.1 fois par heure leur téléphone à l'oreille et moins de 1 fois par heure à la main.
- Ceux-elles qui utilisent leur téléphone à la fois en mode « À la main » et « À l'oreille » de façon proportionnelle. Cela correspond à la zone au centre du graphique, proche de la première bissectrice.
- Ceux-elles qui utilisent régulièrement leur téléphone en mode « À la main » mais peu en mode « À l'oreille ». Cela correspond à la zone en bas, à droite du graphique. On s'aperçoit ainsi que si tous les utilisateurs fréquents à l'oreille utilisent également leur téléphone à la main, il existe des utilisateurs fréquents à la main qui n'utilisent pas ou peu leur smartphone à l'oreille.

3.2.3. DIVERSITE D'UTILISATION « À LA MAIN » SELON LES CONDUCTEURS

L'utilisation du téléphone « À la main » étant celle associée au plus haut niveau de risque dans la littérature, une analyse détaillée a été réalisée pour représenter les profils d'utilisations des 43 conducteur-trices-s, présenté-e-s ci-dessous. Chaque ligne présente un-e conducteur-trice avec le nombre total de trajets réalisés. Un premier filtre comptabilise, sur la base complète, les trajets lors desquels le-la conducteur-trice s'autorise au moins une utilisation « à la main » et le nombre moyen d'utilisations sur ces trajets. Un nouveau filtre évalue ensuite les trajets lors desquels le conducteur s'autorise au moins une utilisation « à la main » **alors que le véhicule est en mouvement**. Cet usage présentant la prise de risque la plus importante, ce dernier pourcentage a été choisi comme critère pour classer les conducteurs selon une habitude de prise de risque.

Table 9 : Comparaison de la distribution des utilisations « à la main » selon les conducteurs

		Utilisations à la main										
Conducteur		Base complète		En mouvement		Distribution des utilisations par condition de mouvement/d'arrêt						
#	Trajets	Trajets (%)	Utilisations par trajet	Trajets (%)	Utilisations par trajet	En mouvement	Derrière véhicule	Arrêt à un feu	Arrêt libre	Feux de détresse	Garé	Début/fin de trajet
1	1617	5%	1.4	1%	1.4	14%	9%	28%	7%	0%	5%	35%
2	1006	4%	1.1	1%	1.3	18%	2%	6%	2%	6%	4%	59%
3	2204	6%	1.4	1%	1.2	11%	5%	4%	12%	0%	7%	61%
4	98	2%	1.0	1%	1.0	50%	0%	0%	0%	0%	0%	50%
5	2116	6%	1.6	1%	2.9	28%	25%	20%	2%	0%	1%	24%
6	1273	6%	1.4	1%	1.3	22%	4%	1%	14%	4%	2%	50%
7	312	17%	1.4	3%	1.1	12%	8%	24%	5%	11%	3%	37%
8	1272	7%	1.6	3%	1.7	46%	1%	6%	8%	3%	2%	31%
9	1107	14%	1.4	3%	1.5	25%	7%	5%	3%	3%	6%	48%
10	2136	9%	1.3	4%	1.3	42%	2%	2%	1%	3%	3%	47%
11	744	6%	1.8	4%	2.0	74%	1%	4%	6%	1%	0%	13%
12	50	8%	1.3	4%	1.0	40%	0%	0%	40%	0%	0%	20%
13	1316	17%	1.4	4%	1.6	27%	7%	9%	10%	0%	5%	40%
14	1217	12%	1.8	4%	2.4	44%	7%	6%	4%	0%	4%	34%
15	2790	27%	1.9	4%	1.1	10%	17%	33%	11%	2%	2%	24%
16	229	22%	1.6	5%	1.2	17%	5%	5%	12%	3%	4%	46%
17	2432	12%	1.6	5%	1.8	45%	5%	7%	6%	1%	2%	34%
18	60	7%	1.0	5%	1.0	75%	0%	0%	0%	0%	0%	25%
19	1553	30%	2.1	5%	1.6	14%	7%	8%	11%	0%	4%	54%
20	1640	14%	1.4	5%	1.2	33%	8%	3%	6%	1%	8%	39%
21	201	19%	1.2	5%	1.1	26%	17%	13%	7%	4%	0%	33%
22	743	21%	2.1	6%	2.0	25%	13%	34%	9%	3%	1%	15%
23	214	14%	1.4	6%	1.0	30%	8%	15%	5%	0%	13%	30%
24	2242	14%	1.7	6%	1.4	33%	23%	12%	5%	1%	2%	23%
25	1601	35%	1.5	6%	1.3	15%	4%	6%	9%	0%	8%	55%
26	130	8%	2.3	6%	2.5	80%	12%	0%	0%	0%	0%	8%
27	393	15%	1.8	6%	2.0	47%	4%	7%	0%	2%	7%	34%
28	2824	13%	1.6	7%	1.4	45%	14%	9%	6%	3%	2%	21%
29	1593	15%	1.6	8%	1.5	50%	6%	6%	7%	3%	5%	23%
30	83	22%	1.6	8%	1.3	32%	7%	0%	14%	0%	4%	43%
31	2337	28%	1.5	10%	1.3	32%	6%	6%	10%	0%	7%	38%
32	104	21%	2.2	12%	2.4	60%	10%	10%	6%	2%	0%	10%
33	2358	23%	2.2	13%	2.1	54%	4%	4%	5%	0%	5%	28%
34	588	25%	1.8	14%	1.6	49%	2%	4%	8%	1%	15%	20%
35	34	18%	3.8	15%	3.4	74%	17%	0%	9%	0%	0%	0%
36	821	26%	1.5	17%	1.4	58%	4%	8%	5%	0%	1%	21%
37	951	41%	2.2	19%	1.9	40%	15%	23%	8%	2%	1%	10%
38	654	38%	2.1	20%	1.8	45%	5%	14%	3%	3%	3%	26%
39	981	32%	2.1	20%	1.8	52%	10%	16%	8%	0%	1%	12%
40	2215	55%	2.9	25%	2.0	31%	4%	10%	4%	2%	8%	41%
41	2395	38%	2.9	26%	2.4	56%	16%	7%	5%	1%	2%	12%
42	425	52%	2.8	30%	2.2	45%	4%	5%	9%	3%	8%	50%
43	798	59%	3.2	42%	2.4	53%	11%	13%	8%	1%	3%	21%

En haut du tableau apparaissent les conducteurs ne s'autorisant que dans de très rares trajets de manipuler leur téléphone en mouvement. En bas, quelques conducteurs manipulent leur téléphone 1 trajet sur 5 ou plus, jusqu'à 42 %. La moyenne des manipulations par trajet avec au moins une manipulation varie entre 1 (le minimum) et 3.4.

Les colonnes à droite détaillent l'ensemble des utilisations des conducteur-trice-s (et non plus les trajets), ventilés par conditions de roulage ou d'arrêt, du mouvement à gauche (le plus risqué), à l'arrêt en début ou fin de trajet à droite (le plus sûr). Si certains conducteurs (11 et 18 notamment), pourtant petits utilisateurs en roulant, utilisent encore moins leur téléphone à l'arrêt, d'autres

conducteurs concentrent quasi-exclusivement leurs utilisations à l'arrêt (notamment les conducteurs 19 et 25 qui utilisent leur téléphone dans 30% et 35% des trajets mais à plus de 50% avant ou après le trajet). A l'inverse, la majorité des gros utilisateurs en roulant ne profitent plus de ces périodes de sécurité, ce qui illustre un usage complètement décomplexé du smartphone pour ces personnes.

3.2.4. SYNTHÈSE SUR LA VARIABILITÉ D'UTILISATION ENTRE CONDUCTEUR·TRICE·S

Ces résultats nous permettent dans un premier temps de mettre en lumière une grande disparité dans le recours au téléphone entre les conducteur·trice·s ayant participé·e·s à l'étude. Ainsi, on observe un rapport de 1 à 100 dans la fréquence d'utilisation entre les plus gros·ses et les plus petit·e·s utilisateur·trice·s.

Si le nombre limité de participant·e·s ne nous permet pas de dégager des tendances selon des critères « sociaux » (âge, sexe, CSP) certains profils d'utilisateur·trice peuvent se dégager de l'analyse des fréquences. On note ainsi des différences dans le type d'utilisations, les conducteur·trice·s qui utilisent fréquemment leur smartphone à la main ne sont pas forcément ceux·elles qui l'utilisent à l'oreille, en revanche la réciproque est fautive : ceux qui ont tendance à utiliser fréquemment leur smartphone à l'« oreille » le font également à la main.

On distingue également différentes attitudes dans l'usage du téléphone à la main : réservé aux phases d'arrêt pour certain·e·s, complètement décomplexé pour d'autres.

3.3. QUELS SONT LES FACTEURS INFLUENÇANT L'UTILISATION DU TELEPHONE ?

Après avoir mis en lumière les différences d'usage entre utilisateurs·trices, on s'intéresse aux contextes qui peuvent impacter l'utilisation du smartphone.

Nous considérons l'hypothèse que certains facteurs définissant le contexte routier et le comportement du conducteur·trice jouent sur la prévalence d'utilisation du smartphone au volant. L'objectif de cette question de recherche est d'identifier **quels facteurs augmentent le risque d'utilisation**. Les utilisations « À la main » et « À l'oreille » sont traitées de façon indépendante pour cette étude. Les résultats liés à cette question de recherche portent sur la base « en circulation », ou sur un extrait de celle-ci quand cela est justifié.

Pour chaque facteur étudié, nous appliquerons la méthode suivante :

- Calcul de l'exposition de chaque modalité du facteur sur la base étudiée ;
- Calcul et analyse de la fréquence d'utilisation du smartphone en mode « À la main » et « À l'oreille » ;
- Vérification de la significativité des différences observées, par un test **de conformité du χ^2** .

3.3.1. IMPACT DE L'INFRASTRUCTURE

L'étude de l'impact de l'infrastructure sur l'utilisation du téléphone est menée en considérant les facteurs « type de route », « Vitesse Maximale Autorisée », puis « virage/sinuosité ». Les résultats de ces trois critères font enfin l'objet d'une discussion commune.

TYPE DE ROUTE

La répartition des heures d'enregistrements sur la base en circulation en fonction du type de route est représentée dans la Figure 24 ci-après.

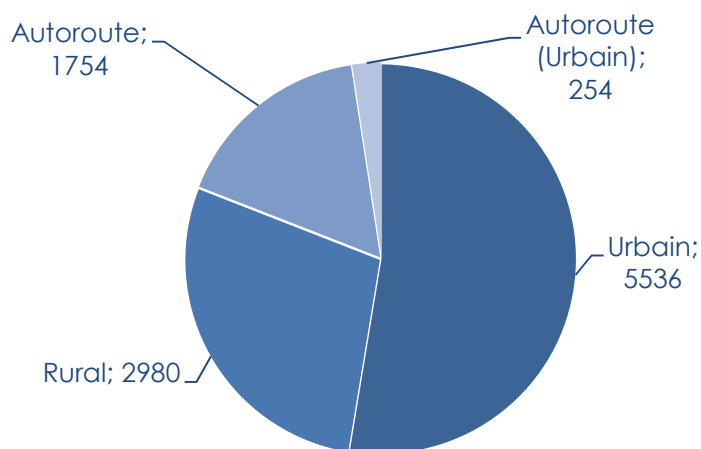


Figure 24 : Nombre d'heures analysées en fonction du type de route

L'analyse de la détection automatique d'utilisations du téléphone « À la main » en fonction du type de route donne les résultats exposés Table 10 et Figure 25.

Table 10 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction du Type de route

Type de route	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion du temps d'utilisation (%)
Urbain	7644	51.92	1.38	0.94
Rural	2001	12.14	0.67	0.41
Autoroute	1685	13.25	0.96	0.75
Autoroute urbaine	157	0.88	0.64	0.36

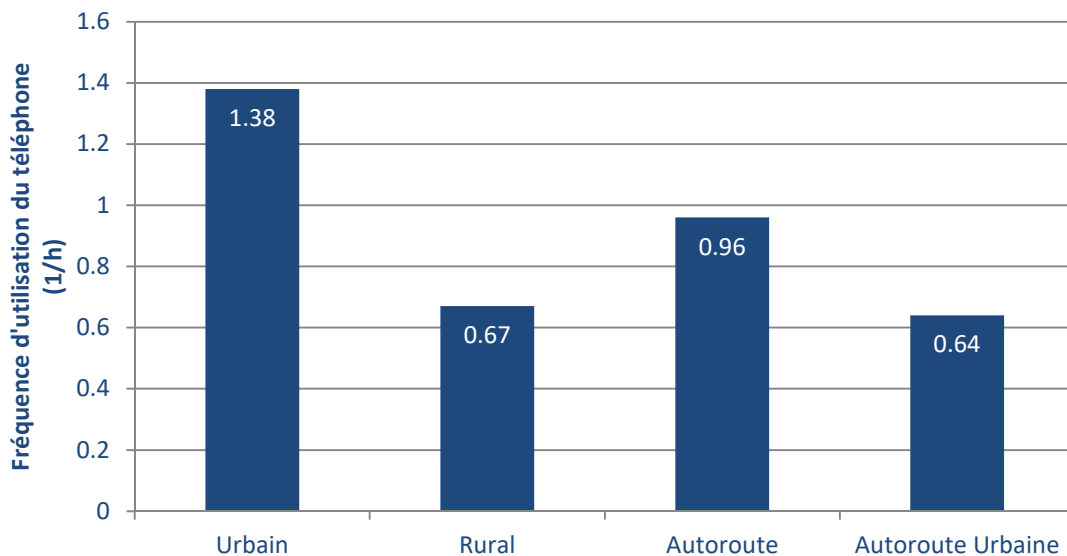


Figure 25: Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction du type de route

Une forte disparité apparaît, l'utilisation du téléphone « À la main » paraît beaucoup plus fréquente en ville et dans une moindre mesure sur autoroute, à l'inverse des routes rurales et des autoroutes urbaines.

Afin de s'assurer que ces différences de fréquence ne peuvent être dues au seul hasard nous mettons en place un test de conformité du χ^2 permettant de confirmer (ou de réfuter) qu'une distribution observée est aléatoire ou, au contraire, traduit un phénomène. Ce test sera systématiquement utilisé pour vérifier que les différences de fréquence d'utilisation sont bien significatives.

Test de conformité du χ^2 . Dans le cadre de l'étude, la variable observée (et testée) est : **Nombre d'utilisations du téléphone au volant**. Selon l'hypothèse H_0 , le type de route n'influence pas l'utilisation du téléphone, le nombre d'utilisation du téléphone est donc proportionnel au nombre

d'heures de conduite par modalité différente. On cherche donc à réfuter cette hypothèse pour démontrer l'impact du type de route sur l'utilisation du smartphone.

La probabilité que la distribution observée soit due au hasard est inférieure à 0.001. On peut donc réfuter l'hypothèse H_0 avec une confiance supérieure à 99,9 %. Le type de route influence donc la propension des conducteurs à utiliser leur téléphone « Hand-Held ».

UTILISATIONS « À L'OREILLE »

La même analyse est appliquée aux détections d'utilisations « à l'oreille » du smartphone. A noter que plusieurs types de route peuvent être détectés pendant une même utilisation du téléphone, lorsque celle-ci dure plusieurs dizaines de secondes. Dans ce cas, c'est le type de route majoritaire sur toute la durée de l'utilisation (i.e. le mode) qui est conservé. On obtient ainsi les résultats exposés Table 11 et Figure 26.

Table 11 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction du Type de route

Type de route	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h^{-1})	Proportion de temps d'utilisation (%)
Urbain	281	4.55	0.05	0.08
Rural	150	2.89	0.05	0.10
Autoroute	35	0.87	0.02	0.05
Autoroute urbaine	6	0.07	0.02	0.03

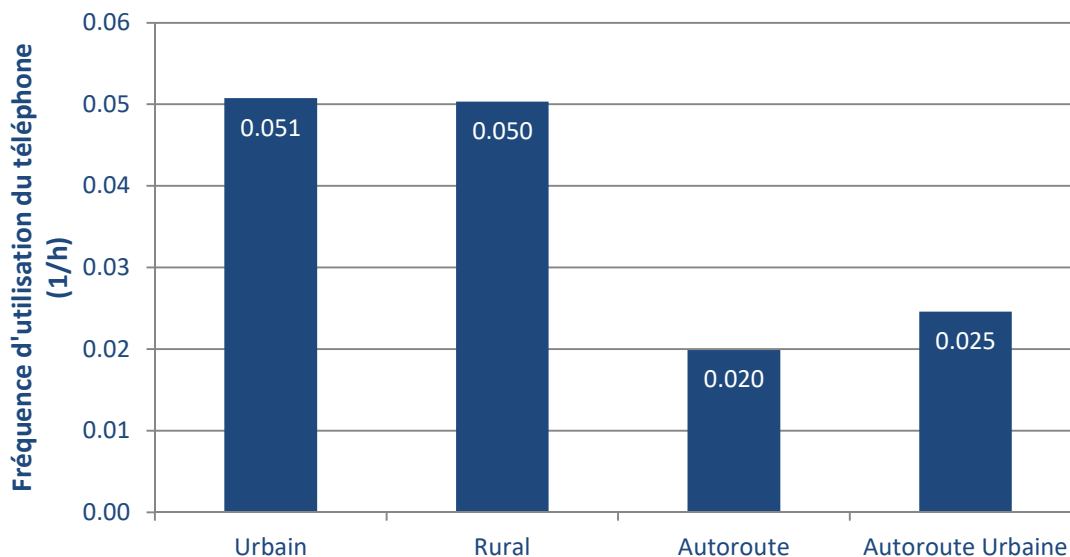


Figure 26: Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction du type de route

La première observation est que les fréquences sont beaucoup plus faibles que pour une utilisation « À la main ». C'est cohérent avec la fréquence moyenne d'utilisation sur toute la base « en circulation », pour laquelle on retrouve une utilisation 24 fois moins fréquente.

La seconde observation est une utilisation plus de 2 fois plus fréquente en milieu urbain et rural que sur autoroute, ce qui montre une utilisation différente du smartphone à l'oreille que tenu en main.

Test du χ^2 . Le nombre d'observations d'utilisation du téléphone en phase « À l'oreille » est plus faible, ce qui se ressent sur la valeur de la variable $T= 46$. La valeur est cependant suffisamment élevée pour réfuter l'hypothèse d'une distribution due au seul hasard avec une confiance supérieure à 99 %.

VITESSE MAXIMALE AUTORISEE

La Vitesse Maximale Autorisée (VMA) est un paramètre qui est évidemment fortement corrélé avec le type de route. Son analyse reste pertinente car il permet d'englober de façon très générale des zones « plus complexes » où la vitesse maximale autorisée sera réduite (avec une limitation à 110 km/h sur autoroute, ou 70km/h en zone rurale), et ce quel que soit la complexité (manque de visibilité, risque de bouchons, virage, ...). La répartition du nombre d'heures enregistrées en fonction de la VMA est représentée dans la Figure 27 ci-après.

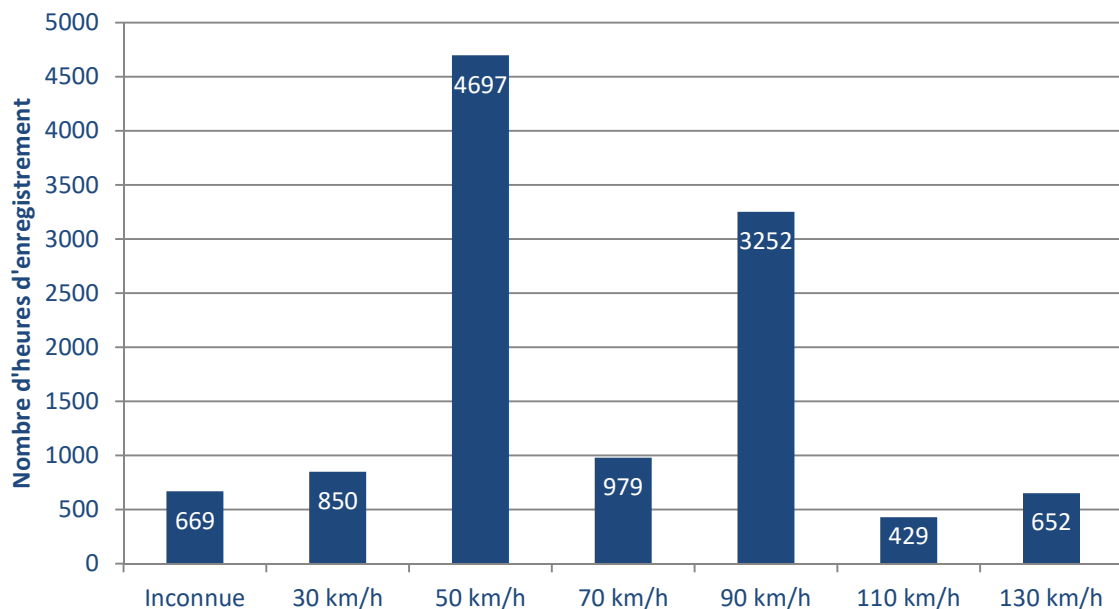


Figure 27 : Nombre d'heures d'enregistrement en fonction de la Vitesse Maximale Autorisée

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la VMA donne les résultats exposés Table 12 et Figure 28.

Table 12 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de Vitesse Maximale Autorisée

Vitesse limite	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
30km/h	1162	8.34	1.37	0.98
50 km/h	6441	43.33	1.37	0.92
70 km/h	920	5.63	0.94	0.58
90 km/h	2391	16.04	0.74	0.49
110 km/h	497	4.18	1.16	0.98
130 km/h	447	2.83	0.69	0.43

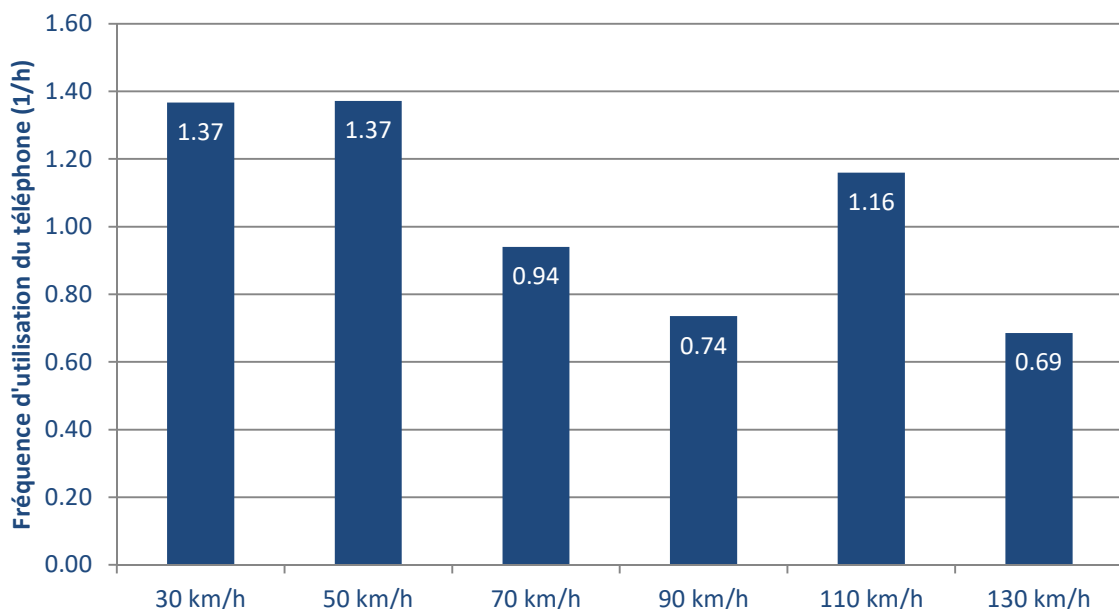


Figure 28 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la Vitesse limite

Les tronçons à 30 et 50 km/h de vitesse limite présentent une fréquence d'utilisation très proche de la fréquence calculée en type de route Urbain (1.37 contre 1.38 utilisation par heure), ce qui était attendu. Ce sont les deux valeurs de VMA avec l'utilisation la plus fréquente du smartphone.

Pour les autres valeurs, on observe une tendance générale de baisse de la fréquence d'utilisation avec l'augmentation de la vitesse limite, avec l'exception notable des passages à 110 km/h qui ont une fréquence supérieure, culminant à 1.16 utilisation par heure.

Test du χ^2 . Le calcul de la statistique T du test du χ^2 donne la valeur 880, ce qui permet de réfuter l'hypothèse H_0 d'une distribution aléatoire avec une confiance supérieure à 99.9 %

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la VMA donne les résultats exposés Table 13 et Figure 29.

Table 13 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la Vitesse Maximale Autorisée

Vitesse limite	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
30km/h	51	0.41	0.06	0.05
50 km/h	234	4.21	0.05	0.09
70 km/h	38	0.46	0.04	0.05
90 km/h	144	3.01	0.04	0.09
110 km/h	12	0.26	0.03	0.06
130 km/h	9	0.30	0.01	0.05

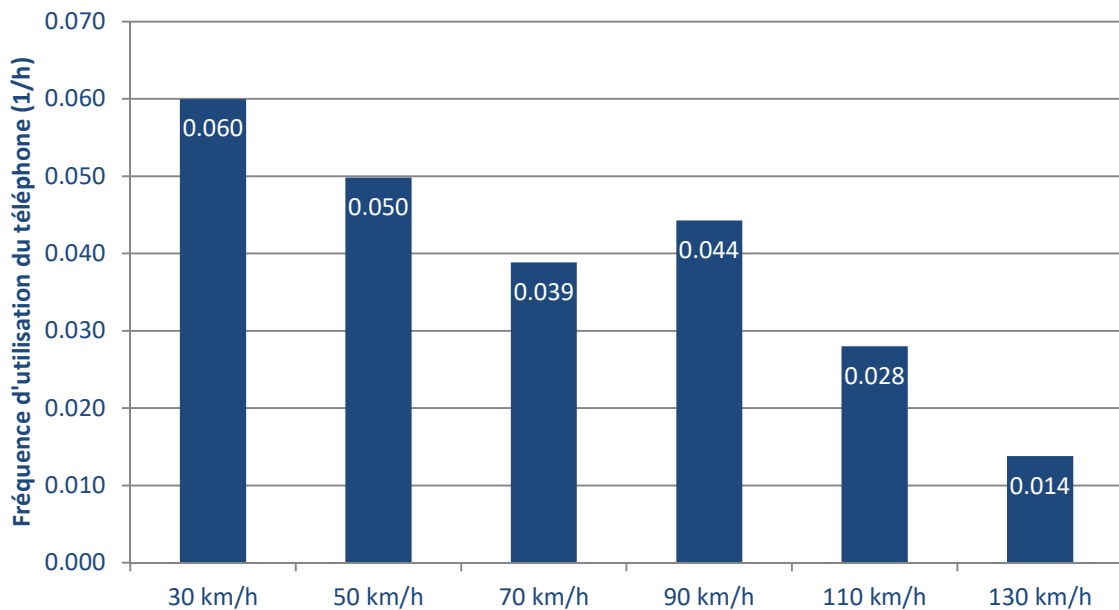


Figure 29 : Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction de la VMA

On observe une diminution globale de l'utilisation du téléphone à l'oreille avec une augmentation de la VMA. C'est particulièrement le cas sur les tronçons d'autoroute à 130 km/h sur lesquels on a une utilisation 4 fois moins fréquente que lorsque la VMA est de 30 ou 50 km/h.

Test du χ^2 . Avec une valeur de 24 pour la variable T, on peut réfuter l'hypothèse H_0 avec une confiance supérieure à 99%.

SINUOSITE

La sinuosité d'un tronçon routier est estimée en comptant le nombre de virages détectés dans la trajectoire de l'égo-véhicule sur une fenêtre glissante de 1 km. (cf. Virage et sinuosité, page 31). Un virage ne pouvant être effectué que si l'égo-véhicule est en mouvement, on exclut de cette analyse toutes les phases où la vitesse est nulle. La répartition des heures de conduite enregistrées en fonction de la sinuosité est représentée dans la Figure 30 ci-après.

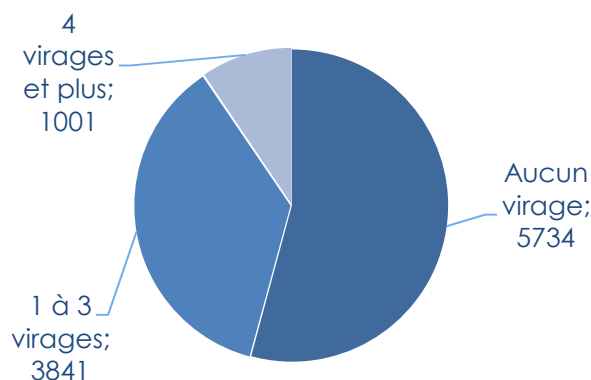


Figure 30 : Nombre d'heures analysées en fonction de la sinuosité (nombre de virages sur tronçon d'1 km)

Note : Le nombre d'heures totales considérées est plus faible que lors de l'analyse précédente sur les types de route. Cela est dû à l'exclusion des phases d'arrêts. En conséquence, le nombre de phases d'utilisation du smartphone est moins important.

UTILISATIONS « À LA MAIN »

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la sinuosité donne les résultats exposés Table 14 et Figure 31.

Table 14 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la présence de virage / sinuosité

Nombre de virages	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
0	4075	22.04	0.71	0.38
1	955	4.74	0.55	0.27
2	641	3.29	0.50	0.26
3	378	1.57	0.46	0.19
≥4	567	2.29	0.57	0.23

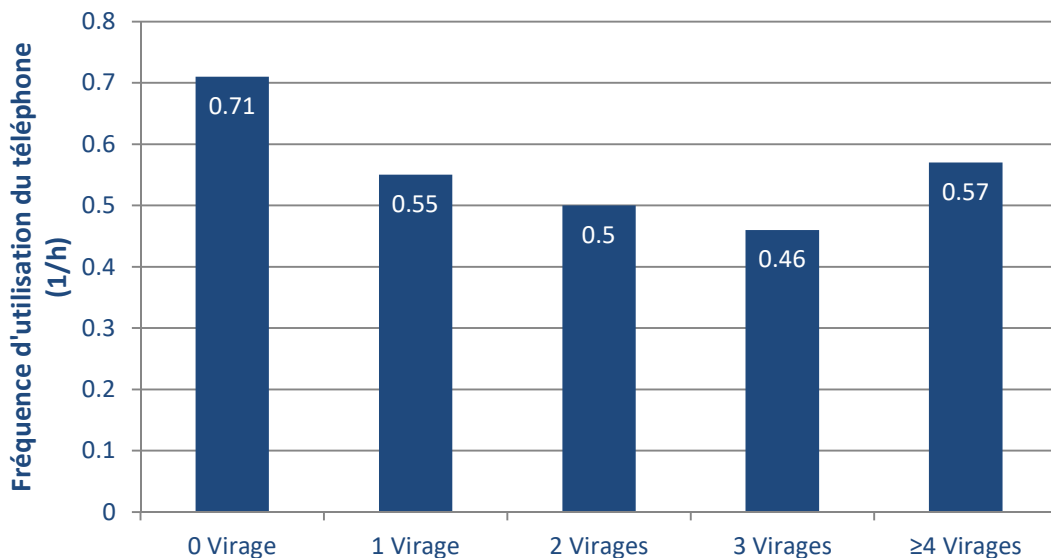


Figure 31 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la sinuosité

Test du χ^2 . Avec les 5 catégories considérées, on obtient une statistique du χ^2 égale à 154, ce qui permet là encore de réfuter l'hypothèse H_0 avec une confiance supérieure à 99.9%.

Impact du Type de route. Si le test du χ^2 nous informe que ces distributions ne sont pas dues au hasard, les résultats sont contre intuitifs, car ils montrent une augmentation de la fréquence pour les tronçons particulièrement sinueux (≥ 4 virages). Cela peut être dû au fait que notre indicateur de sinuosité ne différencie pas les virages dus au tracé d'une section de route, et les « virages » correspondants à un changement de direction de l'égo-véhicule à une intersection. Or, ce dernier type de « virage » est plus fréquent en route urbaine, où l'on a vu précédemment que l'utilisation du téléphone est également plus fréquente. Afin d'approfondir cette question, on s'intéresse aux fréquences d'utilisation du smartphone en fonction de la sinuosité de la route et du type de route. La Figure 32 ci-après représente les fréquences d'utilisations en fonction de ces 2 covariables.

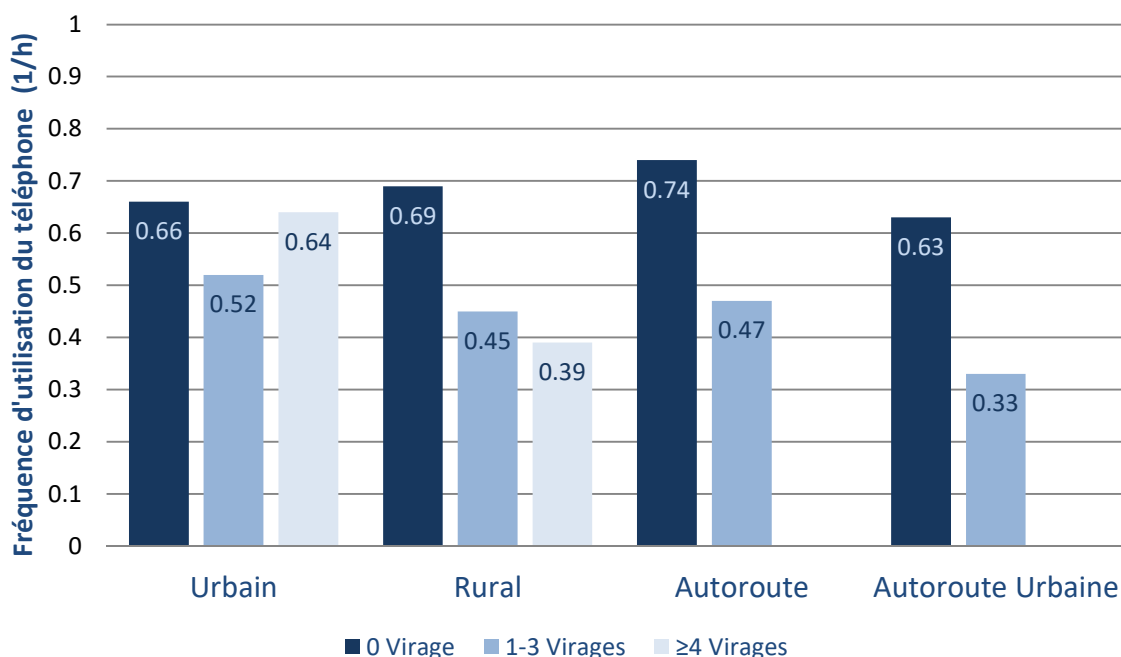


Figure 32 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la sinuosité / type de route

Pour les types de route « rural » et « autoroute » (urbaine ou non), on observe une diminution de la fréquence d'utilisation lorsqu'on a 1 virage ou plus dans un tronçon de 1 km. Le phénomène est moins marqué voir absent en milieu urbain avec une utilisation fréquente sur les tronçons avec 4 virages ou plus.

UTILISATIONS « À L'OREILLE »

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la sinuosité donne les résultats exposés Table 15 et Figure 33.

Table 15 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la présence de virage et de la sinuosité

Nombre de virages	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h^{-1})	Proportion de temps d'Utilisation (%)
0	181	2.73	0.032	0.05
1	48	0.72	0.027	0.04
2	28	0.48	0.022	0.04
3	17	0.21	0.021	0.03
≥4	29	0.29	0.029	0.03

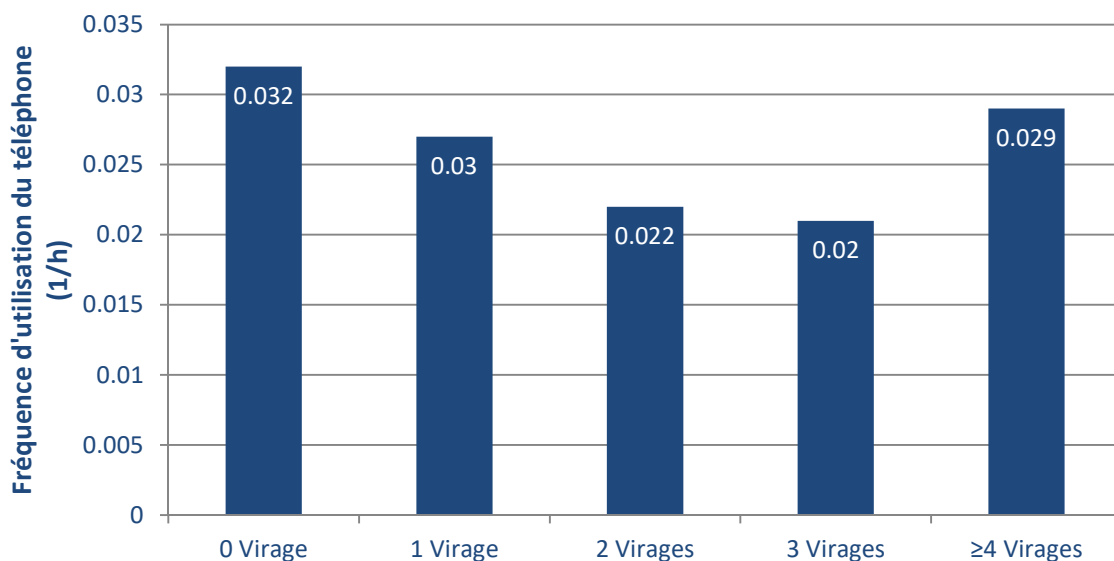


Figure 33 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la sinuosité

Test du χ^2 . On retrouve une distribution très proche de celle obtenue avec les utilisations « À la main », avec une faible diminution de la fréquence d'utilisation avec le nombre de virages jusqu'à 3 virages par fenêtre de 1 Km. En résulte une valeur de la statistique T de 5.51 ce qui ne permet **pas de réfuter l'hypothèse H_0 avec une confiance suffisante**. On ne peut donc pas affirmer que la sinuosité du parcours impacte l'utilisation significativement du téléphone à l'oreille.

DISCUSSION SUR L'IMPACT DE L'INFRASTRUCTURE

L'indicateur de **sinuosité** montre un effet direct mais limité de l'infrastructure. Limité, car il présente peu de sens dans un environnement urbain aux multiples intersections et n'apparaît que très peu affecter l'utilisation « à l'oreille ». En revanche, son analyse montre une baisse certaine d'utilisation « à la main » du téléphone quand la sinuosité augmente sur routes rurales et autoroutes. L'impact de l'infrastructure semble alors issu des contraintes accrues de gestion de la trajectoire, et des contrôles visuels associés, qui s'arrangent difficilement de la distraction visuo-manuelle qu'implique la manipulation à la main d'un téléphone.

Le **type de route**, et la vitesse maximale autorisée qui lui est directement liée, apparaissent fortement influencer sur l'utilisation du smartphone selon des logiques moins évidentes à dégager. Ainsi, l'utilisation « à la main » est tout particulièrement présente en milieu urbain ainsi que, dans une moindre mesure, sur autoroute. L'analyse des VMA montre, dans un contexte urbain, une même utilisation dans les zones à 30 ou 50 km/h. En revanche, elle montre une utilisation accrue sur les autoroutes limitées à 110km/h.

L'utilisation « à l'oreille » suit quant à elle un profil qui apparaît différent. Elle reste prépondérante en contexte urbain (légèrement plus dans les zones limitées à 30 km/h). Mais, ce sont les routes rurales qui présentent la deuxième fréquence, quasi équivalente par rapport au contexte urbain. L'utilisation sur autoroute est nettement inférieure, encore plus sur les routes limitées à 130 km/h.

Des grandes tendances commencent à se dessiner selon les types de routes, mais qui restent encore difficile à interpréter finement. C'est l'analyse menée dans la section suivante qui permettra de

démêler les influences diverses, notamment de la vitesse, du trafic et de la familiarité du trajet, qui se jouent lors de la conduite sur ces différents types de route.

3.3.2. IMPACT DE LA VITESSE ET DU TRAFIC

Cette partie présente l'analyse de l'influence de la vitesse de l'égo-véhicule sur la fréquence d'utilisation du téléphone, dans un premier temps en excluant les phases d'arrêt (i.e. vitesse de l'égo-véhicule strictement égale à 0 km/h). L'identification de l'effet important de la faible vitesse sur autoroute amène ensuite à préciser le rôle des situations de congestion, avant d'examiner les différentes phases d'arrêt.

VITESSE DE L'EGO-VEHICULE

Le nombre d'heures de roulage selon la vitesse est présenté dans la Figure 34 ci-dessous.

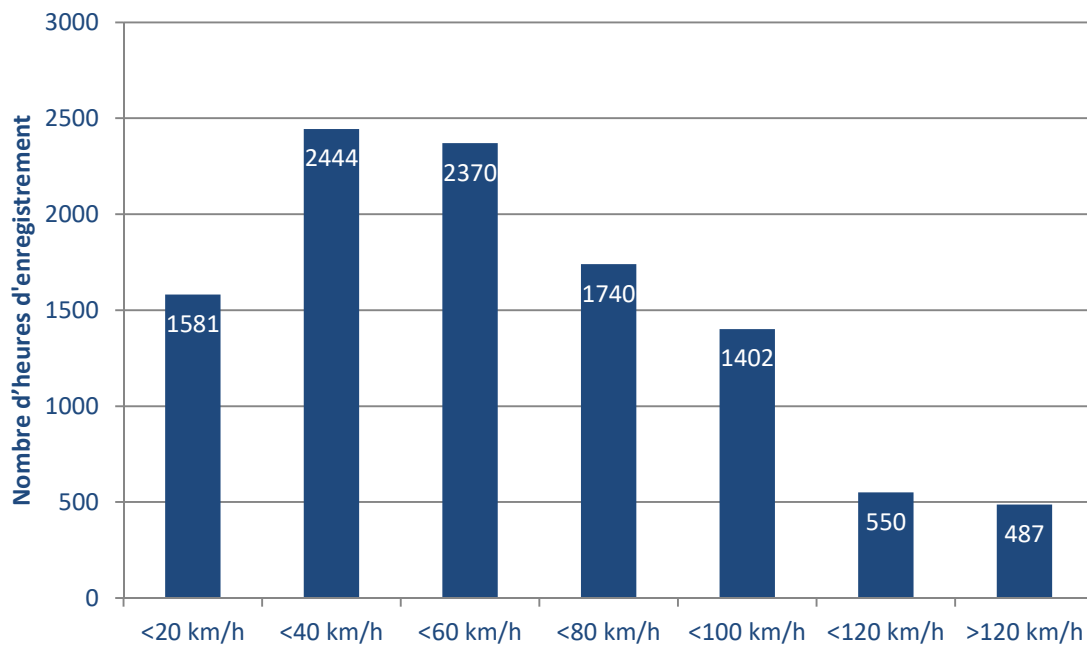


Figure 34 : Nombre d'heures en fonction de la Vitesse égo-véhicule (Vitesse > 0km/h)

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule donne les résultats exposés Table 16 et Figure 35.

Table 16 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule

Vitesse égo-véhicule	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
<20 km/h	1506	7.49	0.95	0.47
<40 km/h	1495	7.82	0.61	0.32
<60 km/h	1423	7.26	0.60	0.31
<80 km/h	934	5.03	0.54	0.29
<100 km/h	702	3.85	0.50	0.27
<120 km/h	286	1.23	0.52	0.22
>120 km/h	257	1.22	0.54	0.26

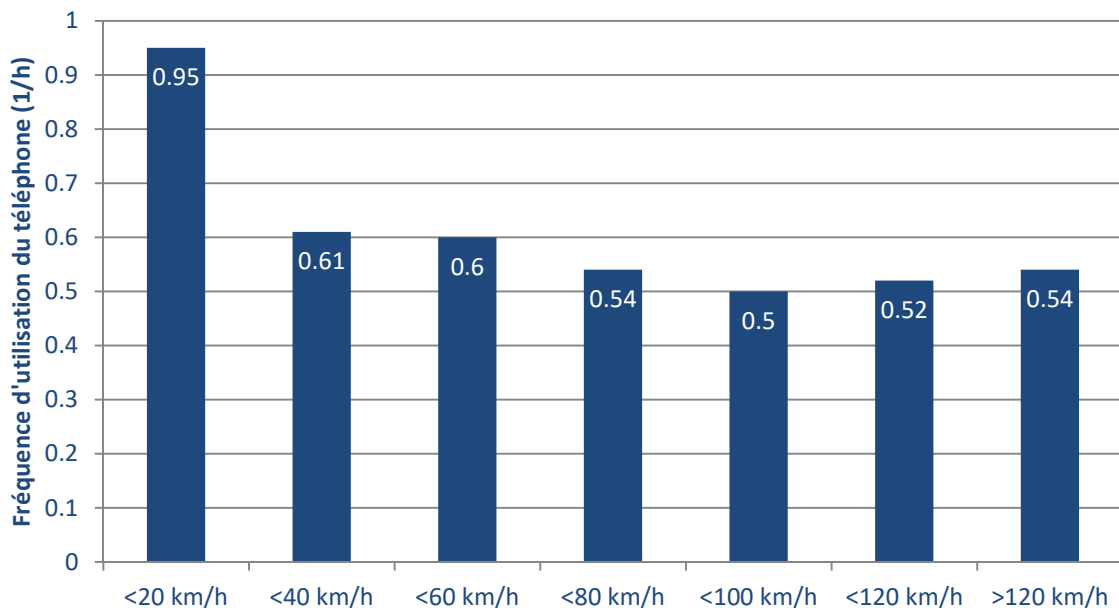


Figure 35 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la vitesse égo-véhicule

Test du χ^2 . Le calcul de la statistique T du test du χ^2 donne la valeur 350, ce qui permet de réfuter l'hypothèse H_0 d'une distribution aléatoire avec une confiance supérieure à 99.9%

A partir de 40 km/h, on observe une distribution presque homogène qui indique que la vitesse de l'égo-véhicule n'est pas prise en compte par l'utilisateur malgré le danger accru.

On observe également une augmentation drastique de la fréquence d'utilisation lorsque la vitesse de l'égo-véhicule est inférieure à 20 km/h. A titre de comparaison, la fréquence d'utilisation à vitesse nulle est considérablement plus importante (4.84 utilisations par heure) et sera examinée dans

l'analyse des phases d'arrêt. On cherche à déterminer si cette augmentation de fréquence est présente quel que soit le contexte routier. On a vu précédemment que le type de route influence fortement la fréquence d'utilisation du téléphone « À la main ». On se propose donc d'étudier la fréquence d'utilisation en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule, avec le type de route en covariable dans la Figure 36 ci-après.

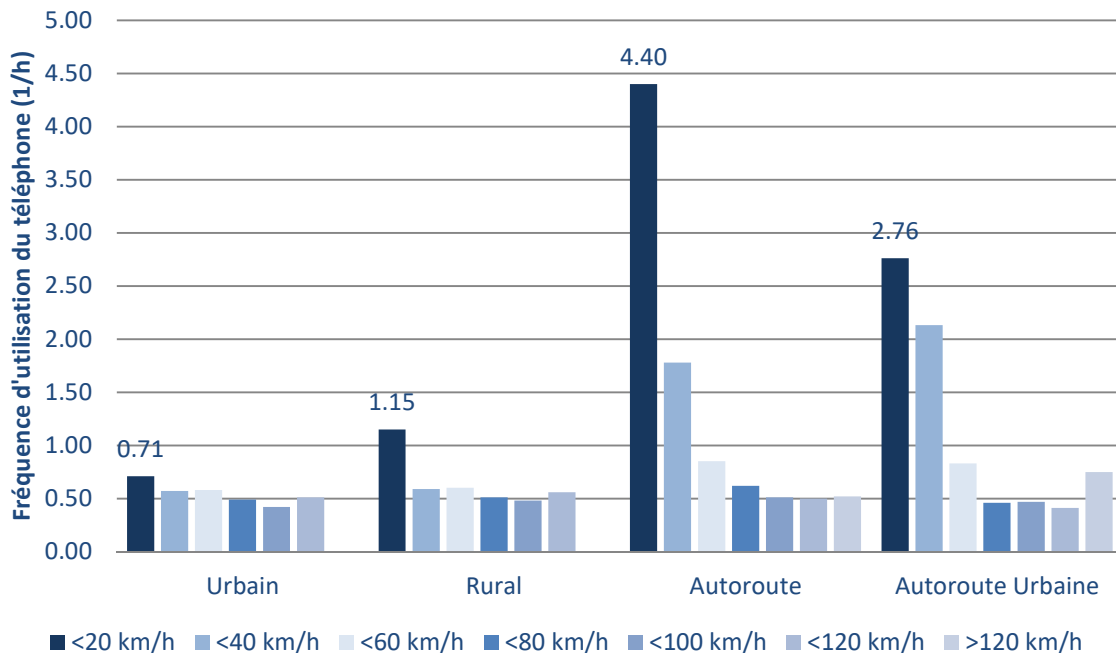


Figure 36 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la vitesse égo-véhicule et du type de route.

On observe une augmentation drastique de la fréquence à faible vitesse sur autoroute et à moindre mesure sur autoroute urbaine et en milieu rural. Cette augmentation de la fréquence à faible vitesse est en revanche beaucoup plus mesurée en milieu urbain. On peut raisonnablement penser que la congestion du trafic sur autoroute est la cause du ralentissement de la vitesse de l'égo-véhicule et que les utilisations du téléphone s'effectuent dans ce contexte.

Cet impact de la congestion est examiné juste après l'analyse des utilisations « à l'oreille »

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule donne les résultats exposés Table 17 et Figure 37.

Table 17 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule

Vitesse égo-véhicule	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation(h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
<20 km/h	51	0.50	0.032	0.39
<40 km/h	66	0.78	0.027	0.08
<60 km/h	66	0.89	0.028	0.08
<80 km/h	59	0.79	0.034	0.05
<100 km/h	36	0.65	0.026	0.05
<120 km/h	18	0.30	0.033	0.05
>120 km/h	2	0.01	0.004	0.00

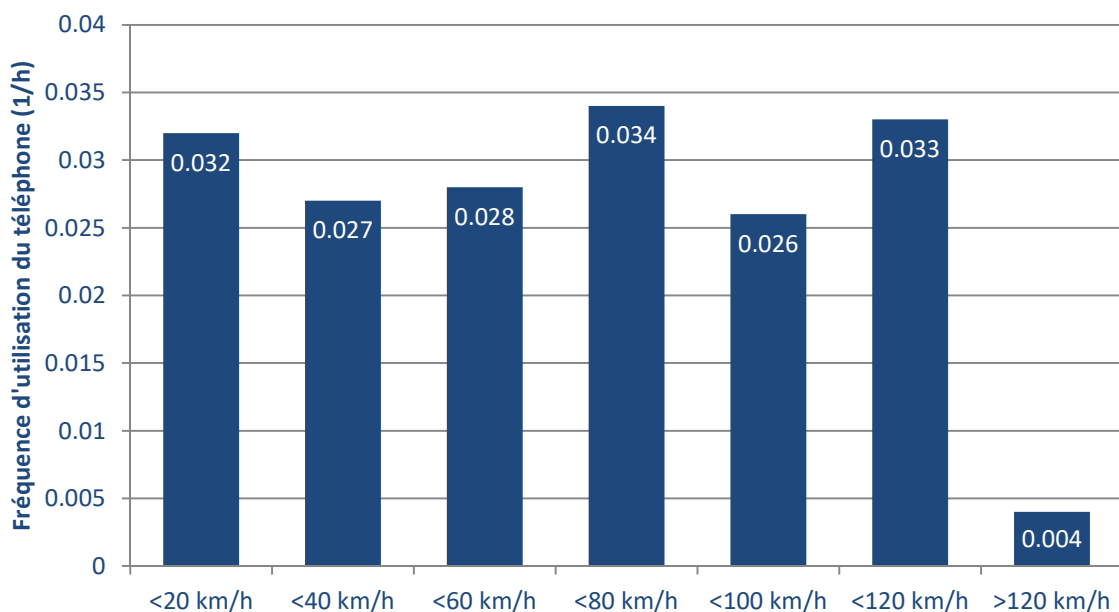


Figure 37 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la Vitesse égo-véhicule

Test du χ^2 . La distribution précédente nous permet de calculer une valeur de 13.8 pour la variable T, ce qui nous permet de réfuter l'hypothèse d'une distribution aléatoire avec une **confiance limitée à 97.5%**.

Contrairement aux résultats obtenus lors de l'analyse des utilisations « à la main », la distribution obtenue indique une fréquence d'utilisation quasi stable quel que soit la vitesse de l'égo-véhicule jusqu'à un seuil de 120 km/h, au-delà duquel on observe une chute drastique du nombre d'utilisations « À l'oreille », avec deux petites détections sur toute la base.

CONGESTION « SUR AUTOROUTE »

Pour rappel l'analyse de la congestion n'est réalisée que pour la conduite sur autoroute car, d'une part, l'indicateur est moins pertinent en condition urbaine et d'autre part car l'effet principal de la vitesse a été observé à faible vitesse sur autoroute. Le nombre d'heures d'enregistrements en fonction de la congestion est représenté dans la Figure 38 ci-après.

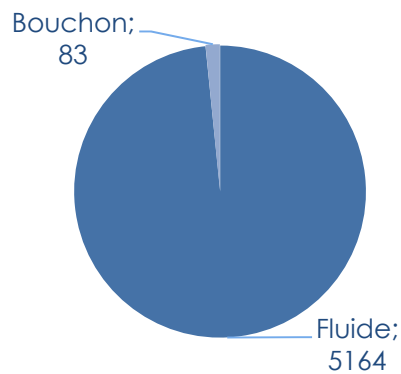


Figure 38 : Nombre d'heures analysées en fonction du trafic

UTILISATIONS « À LA MAIN »

L'analyse de la détection automatique d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la congestion donne les résultats exposés Table 18 et Figure 39 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la congestion.

Table 18 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la congestion du trafic

Congestion Traffic	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
Non	3313	17.64	0.64	0.34
Oui	851	10.55	10.30	12.77

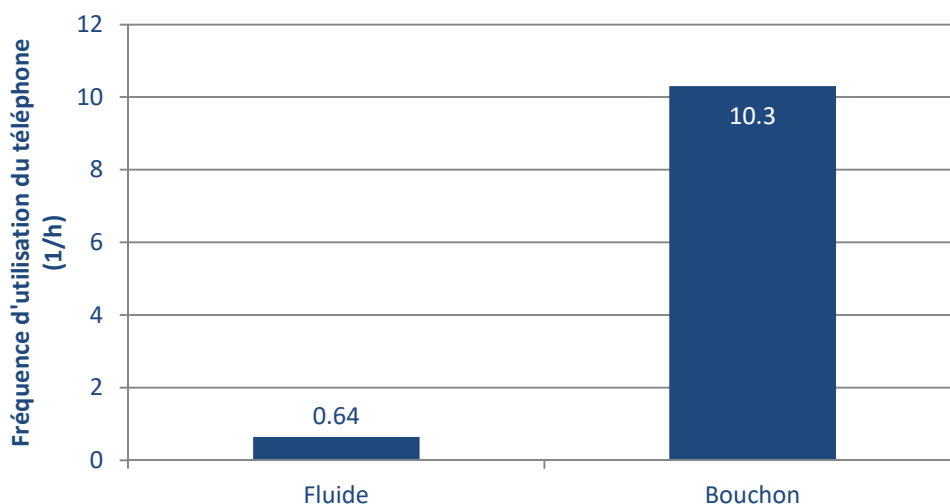


Figure 39 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la congestion

Test du χ^2 . La distribution précédente a une statistique associée T de 9561, ce qui équivaut à des résultats largement significatifs. Conformément à l'hypothèse émise, on observe une augmentation drastique de l'utilisation « à la main » du téléphone dans les bouchons sur autoroute.

La condition de bouchon présente plusieurs caractéristiques qui peuvent impacter l'utilisation du téléphone à la main. Tout d'abord la vitesse réduite est un facteur favorisant l'utilisation, conformément à notre hypothèse. Ensuite, les bouchons sont associés à une dynamique de trafic en « accordéon » avec des accroissements et réductions de Temps Inter-Véhicule (TIV) qui nécessitent une surveillance de la part du conducteur et ne sont donc pas favorables à l'utilisation, distractive, du téléphone. L'augmentation de la fréquence d'utilisation pendant les bouchons, très marquée, s'explique par la définition restrictive de l'indicateur de congestion qui détecte les bouchons stabilisés et exclue les phases d'accordéons (maintien d'un ratio entre la vitesse et la vitesse moyenne habituelle sur le tronçon sur une fenêtre glissante, cf. Congestion, page 32). Ainsi seuls 1/3 des passages avec une vitesse de l'égo-véhicule inférieure à 20 km/h sur autoroute sont considérés comme des bouchons par l'indicateur calculé.

Afin d'étendre l'analyse aux phases de trafic dense de type « accordéon », à vitesse moyenne réduite mais non négligeable, on se propose d'étudier la fréquence d'utilisation du téléphone sur autoroute en fonction de la vitesse de l'ego-véhicule et du TIV. La distribution croisée du nombre d'heures d'enregistrement en fonction de la vitesse et du TIV est renseignée Figure 40 ci-après.

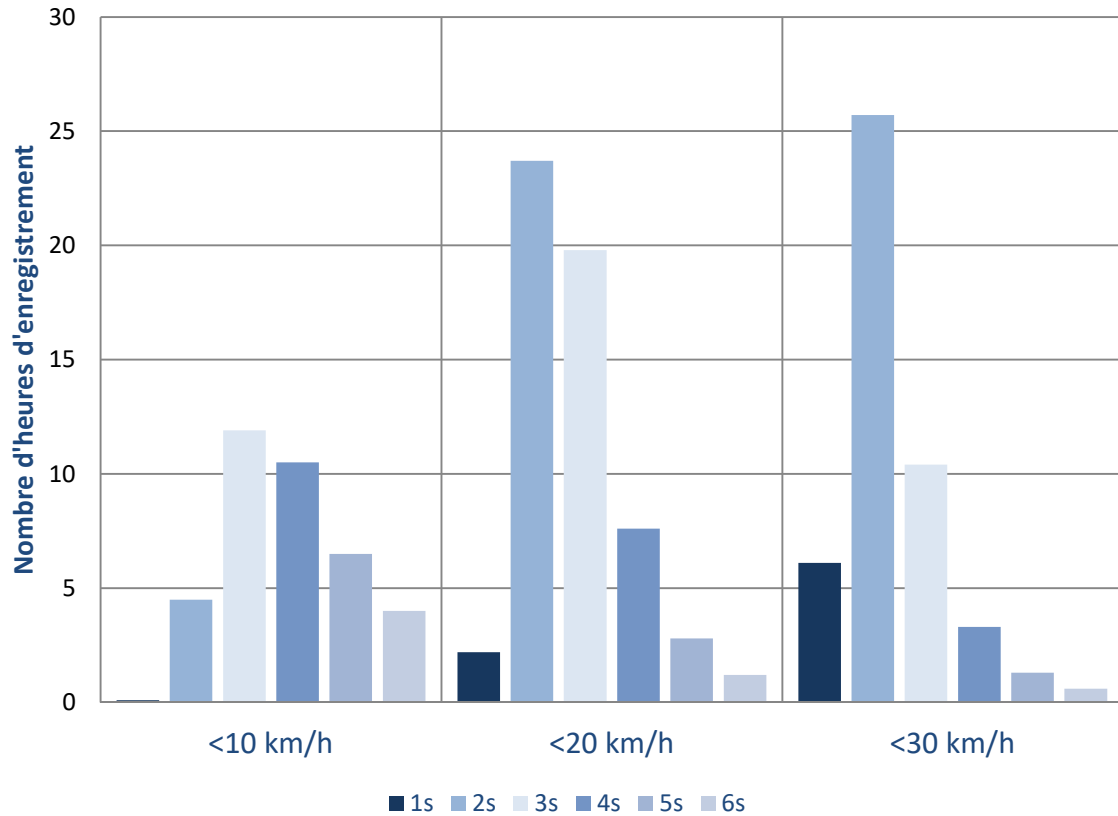


Figure 40 : Nombre d'heures d'enregistrement sur autoroute, à vitesse non nulle, en fonction de la vitesse et du TIV.

La fréquence d'utilisation sur ces enregistrements est renseignée Figure 41 ci-après.

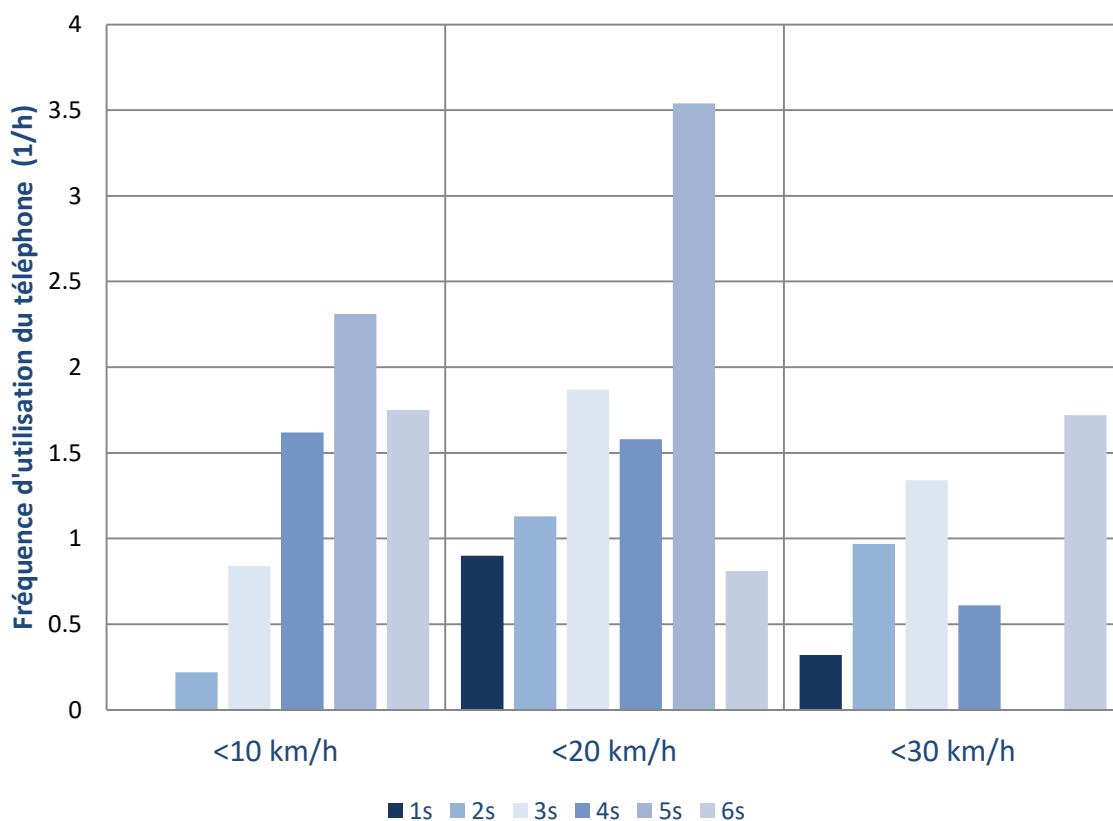


Figure 41 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la vitesse égo-véhicule et du Temps Inter-Véhicule sur autoroute (excluant l'arrêt)

Le TIV n'est défini que lorsque la vitesse de l'égo-véhicule est strictement supérieure à 0 et qu'un CIPV est détecté. Les utilisations à l'arrêt complet ne sont donc pas incluses, ce qui explique les faibles fréquences d'utilisation à moins de 10km/h, comparées à la fréquence en bouchon. L'observation principale porte sur la diminution de l'utilisation du téléphone lorsque le TIV est inférieur à 1s. Cette diminution de la fréquence d'utilisation à faible TIV est d'autant plus marquée à très faible vitesse. On choisit d'analyser la proportion d'utilisations en fonction du TIV à très faible vitesse (inférieur à 10 Km/h) et à vitesse modérée (entre 10 et 30 km/h), Figure 42 ci-après.

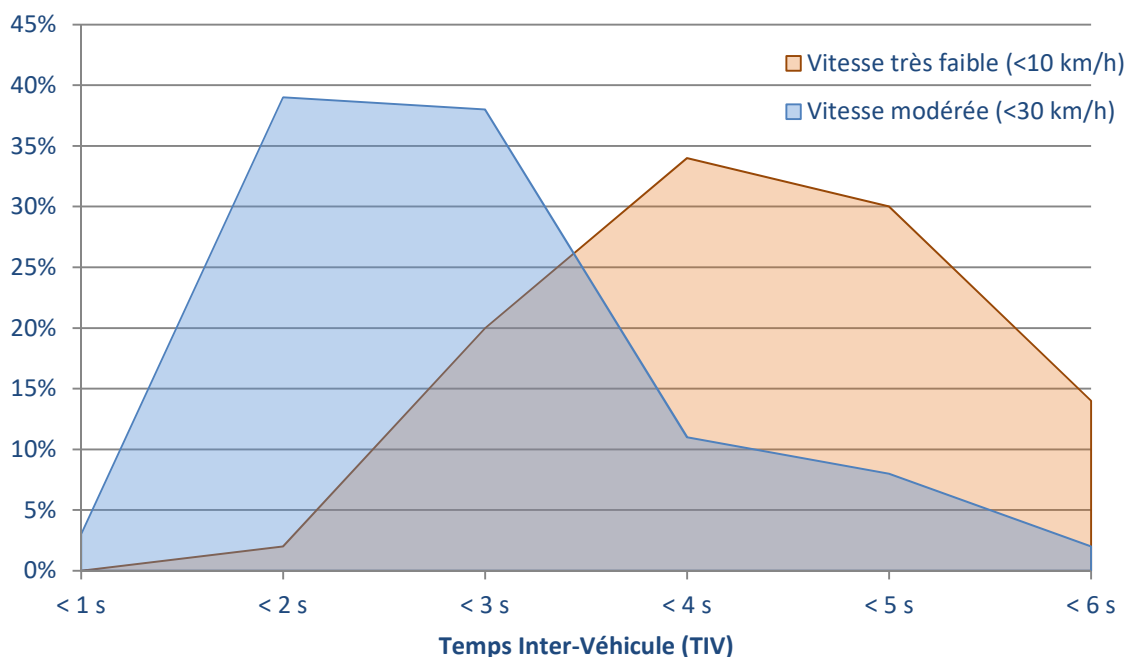


Figure 42: Proportion d'utilisations à la main en fonction du TIV à très faible vitesse et à vitesse modérée.

De manière intéressante, la courbe de distribution est décalée vers la droite à très faible vitesse : les utilisations se regroupent sur des TIV plus importants. Cela peut s'expliquer par le fait que cette faible vitesse est celle des arrêts et des redémarrages, en conditions changeantes, qui demandent de l'attention et ne favorisent donc pas l'utilisation du téléphone à moins d'avoir une marge suffisante. A vitesse plus élevée, l'utilisation du téléphone se distribue sur des TIV plus faibles, ce qui manifeste des utilisations qui sont privilégiées par les conducteurs dans des conditions stables, alors qu'ils anticipent qu'il n'y aura pas de changement de vitesse soudain.

UTILISATIONS « À L'OREILLE »

L'exposition du nombre d'heures d'enregistrement en fonction de la congestion du trafic est donnée Figure 38. Sur cette base, la détection automatique d'utilisation « À l'oreille » du smartphone donne les résultats exposés Table 19 et Figure 43.

Table 19 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la congestion du trafic

Congestion Traffic	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h^{-1})	Proportion de temps d'Utilisation (%)
Non	177	3.30	0.03	0.06
Oui	20	0.67	0.24	0.81

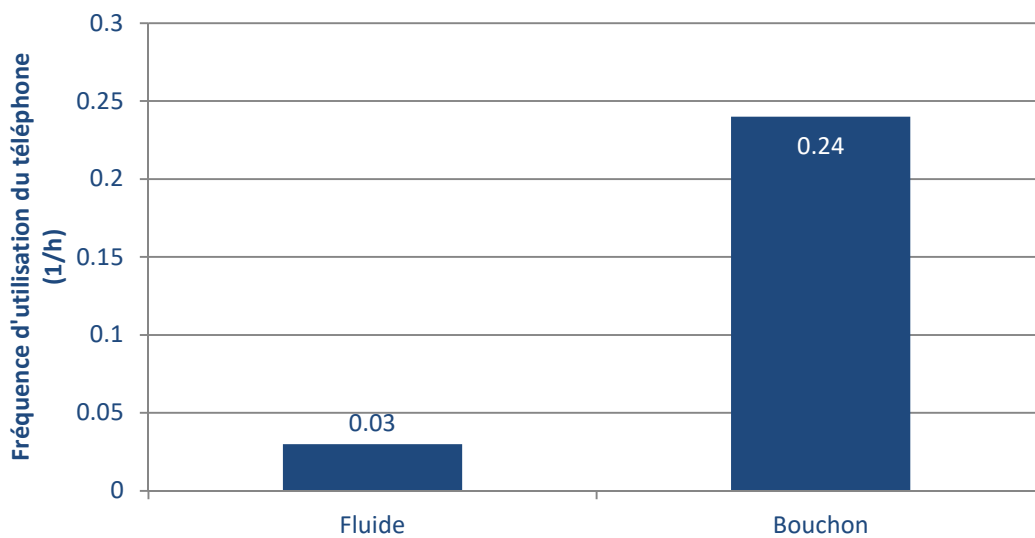


Figure 43 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la congestion

Test du χ^2 . La distribution précédente nous permet de calculer une valeur de 93.5 pour la variable T, ce qui nous permet de réfuter l'hypothèse d'une distribution aléatoire avec une **confiance supérieur à 99.9%**.

On retrouve là aussi une forte influence de la congestion sur le recours à une utilisation « À l'oreille » du smartphone. On note cependant que l'influence est plus faible avec un rapport de 1 à 8, contre un rapport de 1 à 17 pour les utilisations « À la main ».

PHASES D'ARRÊT

Après avoir montré l'importance de l'utilisation à faible vitesse, l'analyse se focalise ici sur la fréquence d'utilisation du téléphone à vitesse nulle, en fonction de la condition d'arrêt de l'égo-véhicule. La distribution du nombre d'heures en fonction du type d'arrêt est rappelée Figure 44 ci-après.

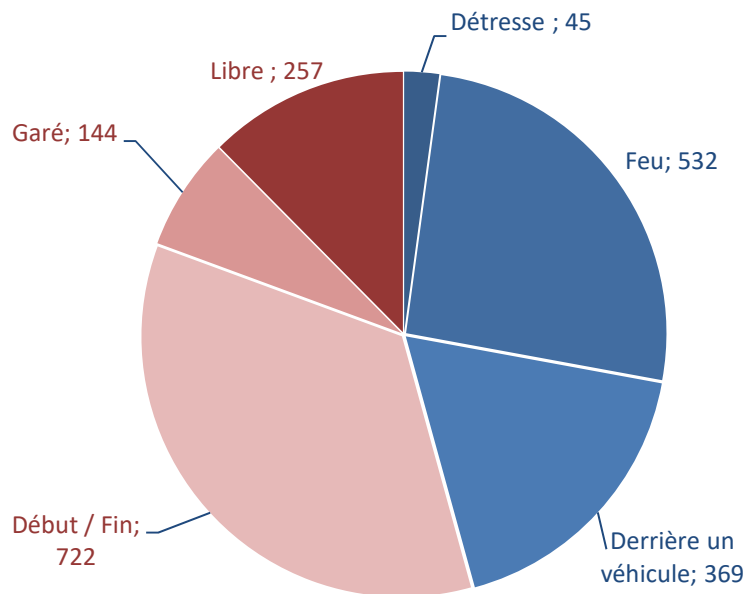


Figure 44 : Nombres d'heures enregistrées en fonction des phases d'arrêts (rappel)

En rouge sont représentées les modalités n'appartenant pas à la base « en circulation ».

Note : Le signal « phase d'arrêt », calculé dans la partie « Arrêt de l'égo-véhicule » (page 31), est un signal continu, qui évolue dans le temps. Il est possible que ce signal prenne plusieurs valeurs pendant une même utilisation du smartphone (par exemple une manipulation de téléphone qui commence juste avant un arrêt au feu alors que le signal Phase d'arrêt prend encore la valeur « En mouvement »). Pour ces utilisations, c'est la valeur la plus fréquente de phase d'arrêt qui est sélectionnée comme raison d'arrêt pour toute l'utilisation. Pour cette raison, les utilisations pendant les phases d'arrêt ne correspondent pas exactement aux nombres d'utilisations durant lesquelles la vitesse moyenne de l'égo-véhicule est strictement nulle. Ainsi, environ 25% des utilisations « À la main » qualifiées à l'arrêt qui sont analysées dans cette partie se font à une vitesse moyenne non nulle, mais très faible (moins de 10km/h).

UTILISATIONS « À LA MAIN »

La détection automatique d'utilisation du téléphone « à la main » donne les résultats présentés dans la Table 20 et la Figure 45 suivantes. La fréquence pendant les phases « En mouvement » est fournie à titre de comparaison.

Table 20 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction du type d'arrêt identifié.

Type d'arrêt	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h^{-1})	Proportion de temps d'Utilisation (%)
En Mouvement	8076	55.38	0.77	0.53
Détresse	246	2.46	5.41	5.42
Feu	2391	13.18	4.50	2.48
Début / Fin	6185	57.64	8.57	7.98
Garé	913	12.99	6.34	9.02
Derrière un véhicule	1941	15.05	5.26	4.08
Libre	1466	13.52	5.71	5.27

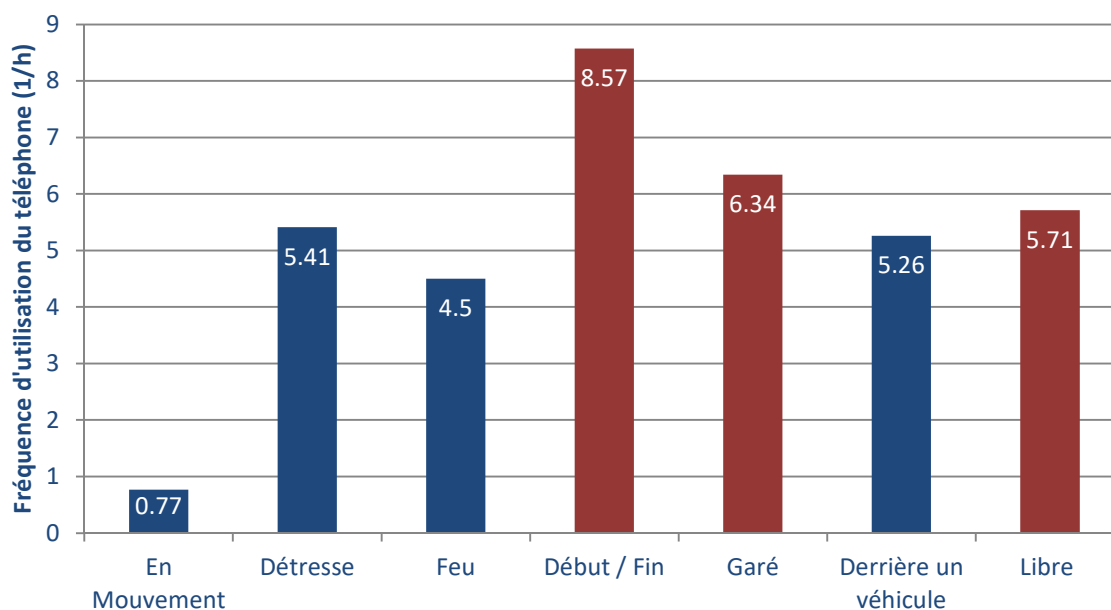


Figure 45 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction du type d'arrêt de l'égo-véhicule

En rouge sont représentées les modalités n'appartenant pas à la base « en circulation ». On observe de façon attendue une utilisation bien plus fréquente à l'arrêt qu'en mouvement, avec une utilisation environ 8 fois plus fréquente, quel que soit la raison de l'arrêt. Parmi ces raisons on retrouve une utilisation fréquente en « détresse » témoignant probablement d'une utilisation détournée des feux de détresse pour signaler un arrêt temporaire sur un emplacement inapproprié. On note également une utilisation particulièrement fréquente aux feux rouges et derrière un autre véhicule.

Test du χ^2 . La distribution précédente permet d'obtenir une valeur de T de 35 818, permettant de largement réfuter l'hypothèse d'une distribution aléatoire avec une probabilité largement supérieure à 99.9%. On note qu'il s'agit de la valeur de la statistique T la plus élevée, ce qui équivaut à la p-value (probabilité que les variations observées soient dues au hasard) la plus faible.

UTILISATIONS « À L'OREILLE »

La détection automatique d'utilisation du téléphone « À l'oreille » donne les résultats présentés dans la Table 21 et la Figure 46 suivantes.

Table 21 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction du type d'arrêt identifié.

Type d'arrêt	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h^{-1})	Proportion de temps d'Utilisation (%)
En Mouvement	412	7.38	0.77	0.07
Détresse	23	0.57	0.75	1.64
Feu	26	0.07	0.47	0.09
Début / Fin	39	0.72	7.82	1.08
Garé	517	0.76	1.64	1.14
Derrière un véhicule	110	0.09	0.35	0.10
Libre	32	0.55	2.64	1.03

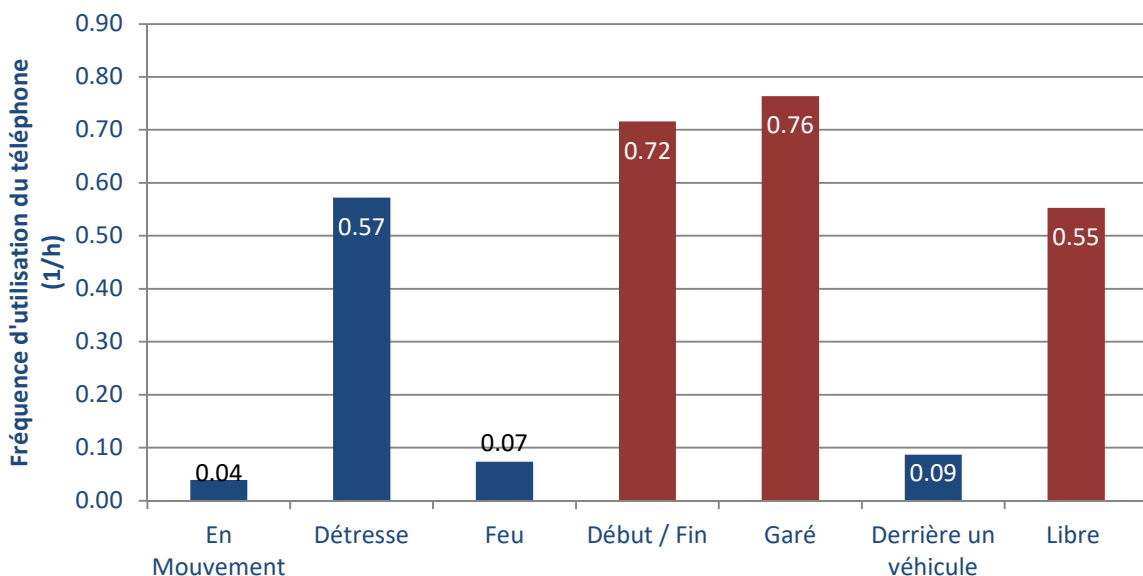


Figure 46 : Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction du type d'arrêt de l'égo-véhicule

On retrouve également une utilisation à l'oreille bien plus fréquente à l'arrêt qu'en mouvement, particulièrement lors des phases de conduite non active représentées en rouge. Pour les phases d'arrêt en conduite active, on retrouve une augmentation accrue de l'utilisation lors d'arrêts avec

utilisation des feux de détresse, et une augmentation beaucoup moins importante pour les arrêts à un feu rouge, ou derrière un autre véhicule.

Test du χ^2 . La distribution précédente présente une valeur de statistique T de 4383, ce qui permet d'établir à nouveau que cette distribution n'est pas due au hasard avec une confiance largement supérieure à 99.9%.

DISCUSSION SUR L'IMPACT DE LA VITESSE ET DU TRAFIC

Les analyses de l'impact de la vitesse et du trafic permettent de préciser et de différencier les conditions d'utilisation « à la main » et « à l'oreille ».

La fréquence d'utilisation du téléphone à la main est plus importante à faible vitesse et stable au-delà de 40km/h. À l'inverse, le recours à l'utilisation « à l'oreille » est stable jusqu'à 120km/h et chute drastiquement passé ce seuil.

Dans les deux cas, l'utilisation est très significativement plus importante à l'arrêt qu'en mouvement, ce qui montre une prise en compte du risque causé par le facteur distrayant lié à l'utilisation du téléphone en roulant. De même, l'utilisation en bouchon est bien plus importante pour les deux modalités, ce qui s'explique par la très faible vitesse qui limite les risques, et l'ennui que peut ressentir le conducteur. L'analyse plus précise de l'utilisation « à la main » selon le TIV et la vitesse permet de préciser les conditions d'utilisation du téléphone dans les passages à faible vitesse sur autoroute. On observe alors une diminution de la fréquence d'utilisation lorsque le TIV est faible (inférieur à 1s). Cela laisse supposer une stratégie de la part du conducteur pour identifier les moments de stabilité du TIV, et donc de la vitesse, qui lui permettent de consacrer son attention à son téléphone pour quelques instants.

C'est dans les phases d'arrêt, et selon le type d'arrêt, qu'on observe les différences les plus importantes entre l'usage du smartphone « à la main » et « à l'oreille ». D'un côté, les utilisations « à la main » et « à l'oreille » sont toutes les deux significativement plus importantes dans les conditions hors circulation (en « début / fin » de trajet ou « garé » proprement ou de manière « libre »). C'est également le cas lorsque le conducteur s'autorise un arrêt en feux de détresse alors qu'il-elle décide quand redémarrer. En revanche, l'augmentation de l'utilisation « à la main » est beaucoup plus importante lors des arrêts temporaires « en circulation » alors qu'« à l'oreille » elle diffère peu de l'utilisation « en mouvement ». Durant ces arrêts « en circulation » la reprise est décidée non pas par le conducteur mais imposée par le trafic ou par le feu de signalisation. C'est un contexte qui apparaît plus propice à l'initiation ou à la continuation de tâches interruptibles telles que l'utilisation du téléphone « à la main », que l'utilisateur peut « facilement » interrompre lors de la reprise du mouvement et reprendre lors du prochain arrêt. L'analyse des scénarios typiques d'utilisation montrera que cette utilisation à l'arrêt n'est cependant pas sans conséquence sur l'utilisation en mouvement (cf. 3.4, page 76).

3.3.3. CONNAISSANCE DU TRAJET

La connaissance du trajet effectué est estimée à l'aide du nombre de passage total et du nombre de passages par mois d'un conducteur sur un segment pendant la durée de l'étude (cf. Caractérisation du contexte routier, page 28). L'exposition des heures d'enregistrement sur la base de données est représentée dans la Figure 47 suivante.

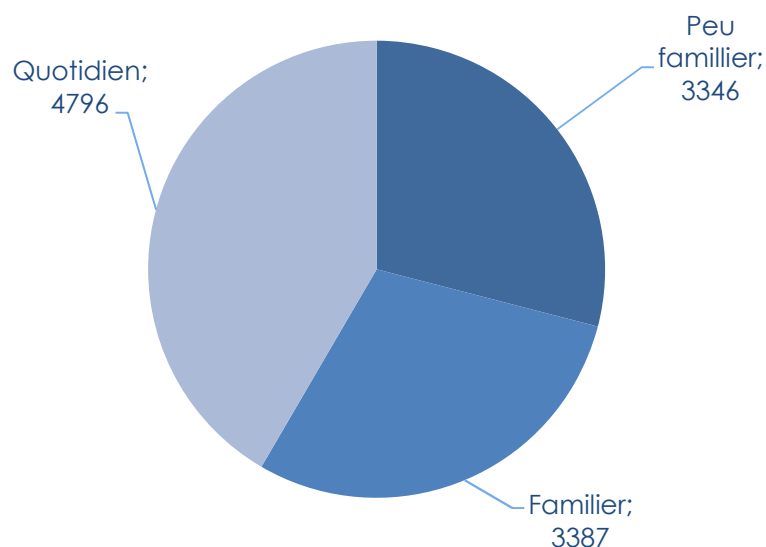


Figure 47 : Nombre d'heures analysées en fonction de la familiarité du trajet

L'hypothèse considérée est que les conducteur-trice-s ont plus souvent recours à leur smartphone sur les trajets quotidiens.

UTILISATIONS « À LA MAIN »

La détection automatique d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la connaissance du trajet donne les résultats présentés dans la Table 22 et la Figure 48 suivantes.

Table 22 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la connaissance du trajet.

Connaissance du trajet	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
Peu familier	4064	27.84	1.21	0.83
Familier	4157	27.46	1.23	0.81
Quotidien	4655	32.79	0.97	0.68

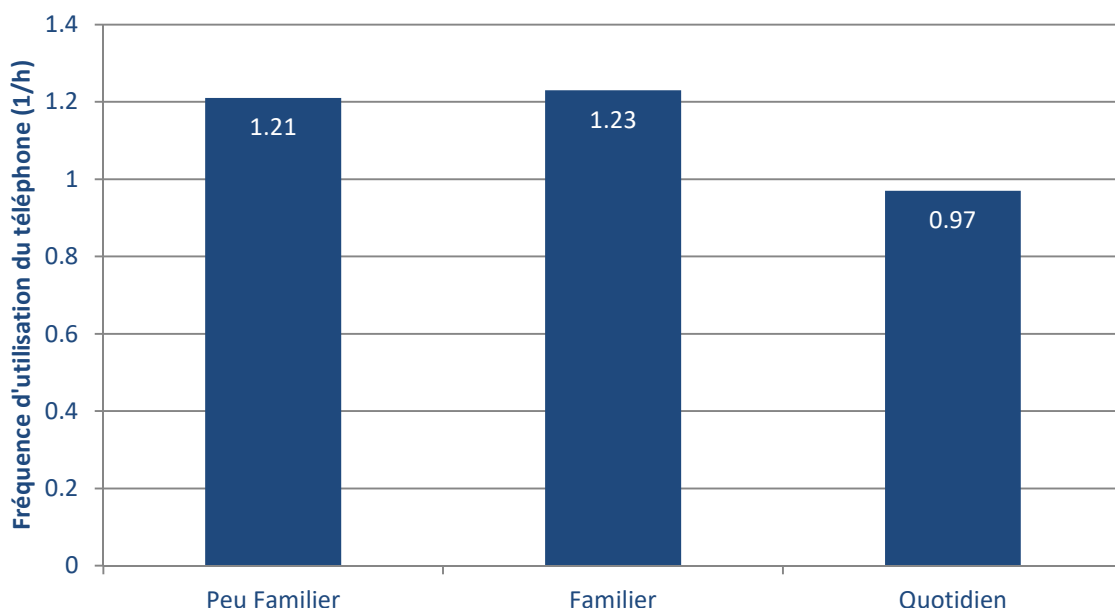


Figure 48 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la familiarité du trajet

Test du χ^2 . On observe une répartition relativement homogène du nombre d'utilisations en fonction de la familiarité du trajet. La valeur de la statistique T du χ^2 est de 157 ce qui permet tout de même de réfuter que les variations sont dues au pur hasard avec une confiance supérieure à 99.9%.

On observe un impact faible de la familiarité du trajet sur la fréquence d'utilisation. Contrairement à notre hypothèse, le téléphone a même moins de chance d'être utilisé durant les trajets familiers. On peut supposer qu'il y a 2 types d'utilisations « complémentaires » qui ont des distributions inverses :

- Usage « récréatif » (communication, réseaux sociaux...) qui va être plus fréquent sur les trajets connus où la gestion de la distraction est facilitée ;
- Usage pour la navigation, qui va être bien plus fréquent sur les trajets inconnus.

Cette supposition ne peut pas être directement testée, les usages précis du smartphone n'étant pas connus. Afin d'affiner l'analyse, la fréquence d'utilisation du smartphone est représentée en fonction de la familiarité du trajet et du type de route dans la Figure 49 ci-après.

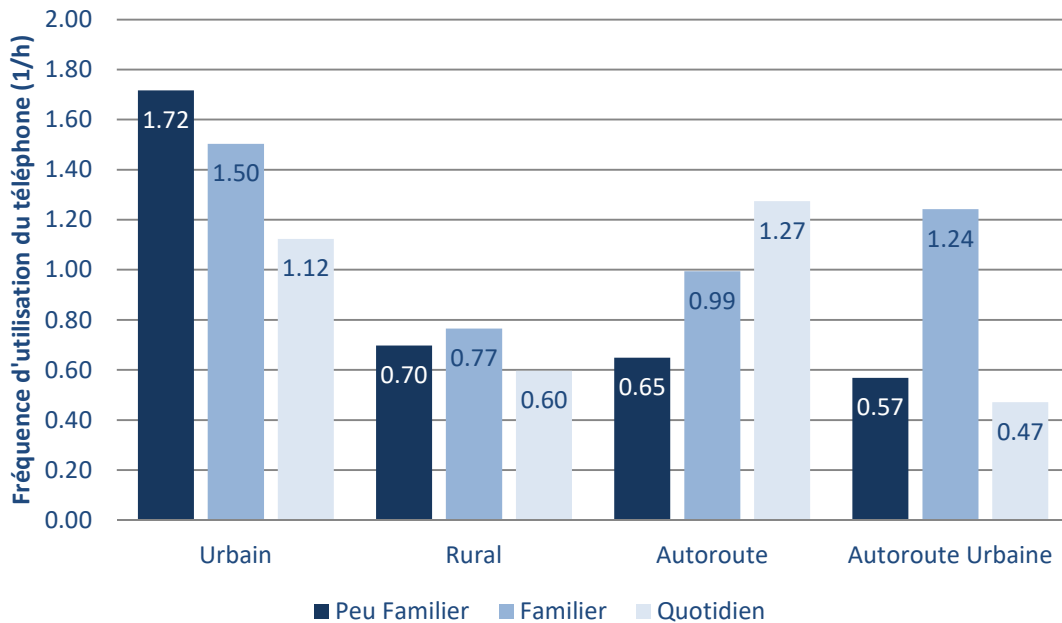


Figure 49 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la familiarité du trajet et du type de route

Deux distributions se dessinent en miroir : une utilisation en milieu urbain qui décroît en fonction de la familiarité du trajet et qui à l'inverse augmente sur autoroute. En milieu rural, la familiarité n'a pas ou peu d'impact. Si ces résultats sont significatifs, il est important de vérifier que l'on a une diversité de conducteurs suffisante pour justifier les conclusions. Or il apparaît que 70% des utilisations en autoroute sur trajet familier ont été faite par une seule et même conductrice. Les conclusions du comportement de cette conductrice ne peuvent pas être généralisées. Si on l'exclut de notre échantillon, on obtient les distributions ci-après (cf. Figure 50).

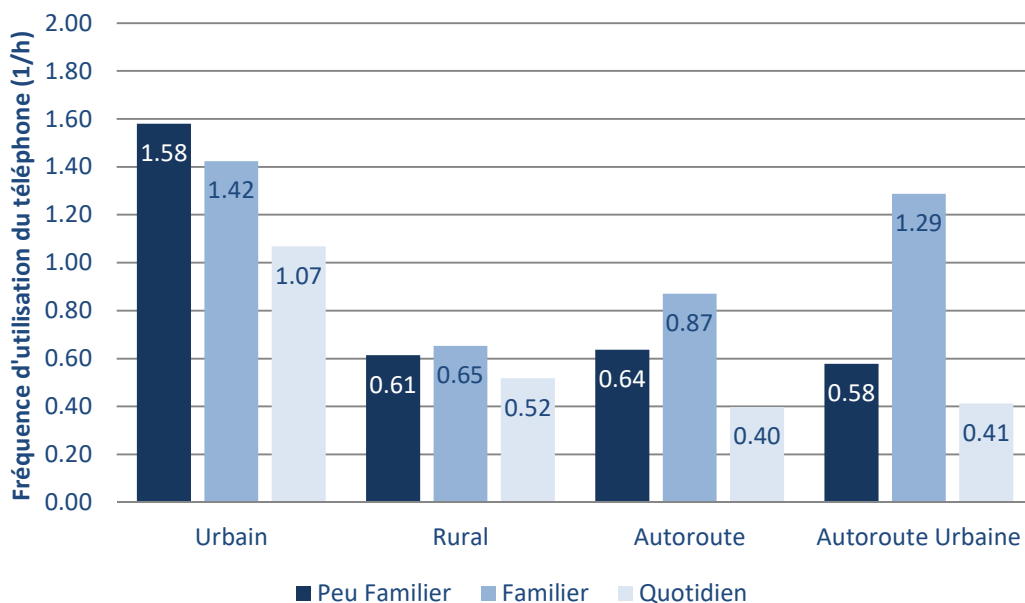


Figure 50 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la familiarité du trajet et du type de route, en excluant la conductrice contribuant à 70% des utilisations

En excluant cette conductrice de l'analyse, on retrouve une fréquence un peu plus basse d'utilisation pour la majorité des modalités croisées. La fréquence « trajet habituel sur autoroute » baisse drastiquement à 0.4 utilisation par heure. En revanche, pour le milieu urbain on trouve une distribution équilibrée entre plusieurs conducteurs-trices, qui montre une utilisation bien plus fréquente lorsque le trajet est inconnu. On peut émettre l'hypothèse que cette hausse de la fréquence d'utilisation sur trajet inconnu est liée à l'usage des fonctions de navigation du smartphone.

On note enfin que la distribution sur autoroute urbaine, notamment quand le trajet est familier, souffre également d'un déséquilibre entre conducteurs. Seulement 6 conducteurs-trices ont utilisé leur téléphone sur ce type de route, dont une est responsable de plus de 70% des utilisations. Cette distribution est donc difficilement exploitable.

UTILISATIONS « À L'OREILLE »

La détection automatique d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la connaissance du trajet donne les résultats présentés dans les Table 23 et Figure 51 suivantes.

Table 23 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la connaissance du trajet.

Connaissance du trajet	Nombre d'utilisations	Durée totale d'utilisation (h)	Fréquence d'utilisation (h ⁻¹)	Proportion de temps d'Utilisation (%)
Inconnu	154	2.36	0.05	0.07
Familier	180	2.92	0.05	0.09
Habituel	193	3.96	0.04	0.08

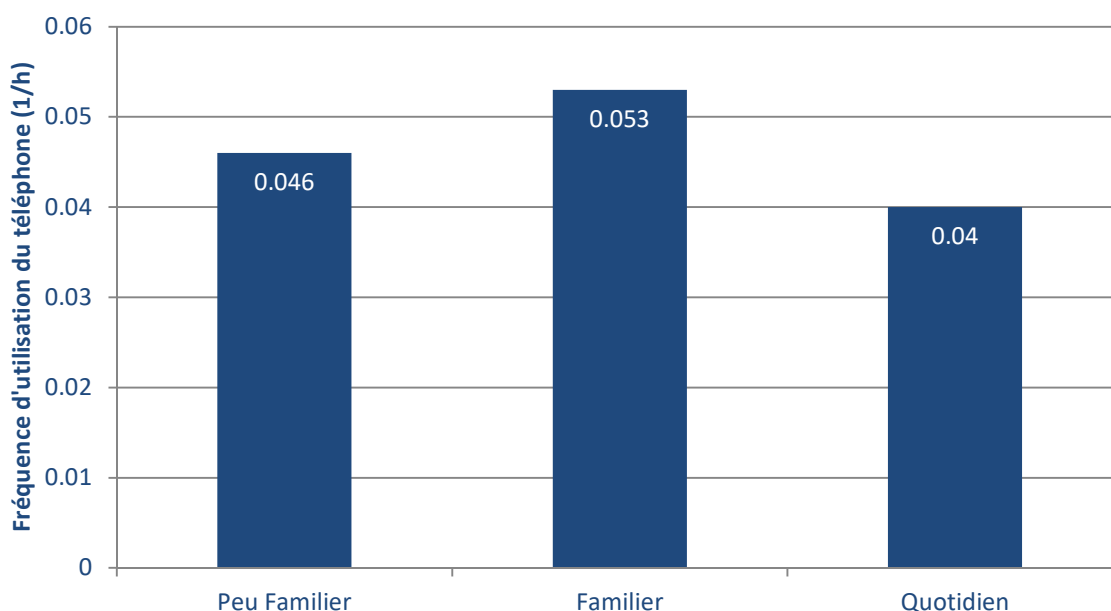


Figure 51 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la familiarité du trajet

Test du χ^2 . On observe une très faible influence de la familiarité estimée du trajet sur la fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille ». La valeur de la statistique T du χ^2 est de 7.23 ce qui ne permet pas de réfuter l'hypothèse H_0 avec une confiance suffisante.

DISCUSSION SUR L'IMPACT DE LA CONNAISSANCE DU TRAJET

L'hypothèse considérée, à savoir que le conducteur est plus en confiance et donc plus susceptible d'utiliser son téléphone sur un trajet familier ne se vérifie pas dans les données. L'impact de la connaissance du trajet est très limité lorsque considérée globalement, tant pour l'utilisation « À l'oreille » que « À la main ». En revanche, lorsque le type de route est étudiée en tant que covariable, l'utilisation à « À la main » en milieu urbain apparaît beaucoup plus fréquente (+50%) lorsque le trajet est inconnu. Cela contredit l'hypothèse de départ, et indiquerait une utilisation pour des tâches de navigation, bien que cela ne soit pas vérifiable dans nos données. Il n'est pas impossible que cet accroissement d'utilisation, supposément lié à la navigation, ne masque un accroissement d'utilisation récréatif selon la familiarité du trajet, ce qu'il ne nous est pas non plus possible de vérifier.

Enfin, aucun impact notable de la familiarité de la route sur l'utilisation « à l'oreille » n'a pu être mesuré.

3.3.4. SYNTHÈSE SUR LES FACTEURS INFLUANT L'UTILISATION DU TÉLÉPHONE

Nous avons cherché à identifier les situations impactant —et dans quelles proportions— la fréquence d'utilisation du smartphone au volant. Il est intéressant de noter que certains facteurs influencent de manière analogue les deux modalités d'utilisations (« À l'oreille » ou « À la main »), alors que d'autres sont plus spécifiques.

On note ainsi que c'est en milieu urbain que l'utilisation du téléphone est la plus fréquente, quelle que soit la modalité, suivi des passages sur autoroute pour les utilisations « À la main » et du milieu rural pour les utilisations « À l'oreille ». Dans ces deux cas de figure hors milieu urbain, une sinuosité importante semble diminuer le recours au téléphone.

La familiarité des routes pourrait avoir des effets mélangés. Les résultats semblent pointer un impact incitatif des routes peu connues sur l'utilisation « à la main » en milieu urbain, possiblement lié à une utilisation dans un but de navigation.

Tout contexte confondu, on note la prépondérance d'utilisation du téléphone lorsque l'ego-véhicule est à l'arrêt, avec une utilisation moyenne jusqu'à 15 fois plus fréquente. C'est le cas pour les arrêts hors circulation (cf. Définition de la base « en circulation », page 35), ainsi que pour les arrêts en feux de détresse. Pour les utilisations « À la main » on note également une augmentation drastique de la fréquence d'utilisation lors des arrêts aux feux tricolores et derrière un véhicule. Ce dernier type d'arrêt, lorsqu'il intervient sur autoroute, peut-être associés à des situations de congestion du trafic, durant lesquelles le recours au téléphone serait bien plus fréquent. Cette hypothèse se vérifie avec une fréquence 17 fois plus élevée en bouchon. A noter que les situations plus complexes de type

« accordéon » témoignent d'une adaptation des conducteur·trice·s avec une augmentation marquée de la fréquence à faible vitesse lorsque le TIV est estimé « suffisant ».

Ces augmentations des fréquences d'utilisation « À la main » peuvent s'expliquer par le caractère fractionnable de la tâche d'interaction avec le téléphone. Elles posent la question de l'impact sur la conduite dans les instants qui suivent, et notamment sur la fréquence d'utilisation une fois que l'ego-véhicule a redémarré.

3.4. QUELS SONT LES SCENARIOS TYPIQUES DE MANIPULATION DU TELEPHONE AU VOLANT ?

L'analyse précédente a permis de mettre en lumière l'existence de conditions du contexte routier qui influent sur une utilisation ponctuelle du téléphone. Alors que nous avons considéré jusqu'alors chaque utilisation comme indépendante, nous nous intéressons ici à des **séquences** d'utilisations, qui peuvent être initiées dans un certain contexte et se poursuivre dans un autre. En effet, si on peut raisonnablement penser qu'une utilisation à l'arrêt présente peu de risques, nous émettons l'hypothèse que celle-ci peut se prolonger après la phase d'arrêt et donc qu'une utilisation ultérieure sera plus probable.

Nous proposerons une définition de ces **séquences d'utilisations**, avant d'étudier leur distribution en fonction de leurs conditions d'initiation et d'exécution (en mouvement ou selon les différents types d'arrêt). La propension à poursuivre l'utilisation en mouvement sera ensuite examinée pour chaque condition d'utilisation.

3.4.1. DEFINITION DES SCENARIOS DE MANIPULATION DU SMARTPHONE

L'analyse rapportée dans cette partie est basée sur l'hypothèse qu'une part significative des utilisations du smartphone se fait à la suite l'une de l'autre et font partie d'une séquence. Nous cherchons ici à définir la durée en dessous de laquelle deux utilisations peuvent être considérées comme faisant partie de la même séquence.

ECHANTILLON UTILISE

Pour cette étude, nous analysons de façon indifférente les utilisations « À la main » et « À l'oreille », en considérant que, si l'usage est rapproché dans le temps, les utilisations font partie de la même séquence correspondant à une tâche secondaire étendue (par exemple, choix d'un contact lors d'une phase « À la main », suivie d'une phase d'appel « À l'oreille »). De plus, l'ensemble des utilisations sont considérées, y compris celles intervenant lors d'un arrêt en phase « hors conduite » (cf. Définition de la base « en circulation »). En effet, une utilisation alors que l'égo-véhicule est garé et/ou au début de son trajet peut avoir une influence sur d'éventuelles utilisations futures qui auront lieu dans la circulation active.

DEFINITION DES SEQUENCES D'UTILISATION

Nous cherchons tout d'abord à analyser la distribution de la durée entre deux utilisations afin de caractériser les séquences typiques (cf. Figure 52 ci-après).

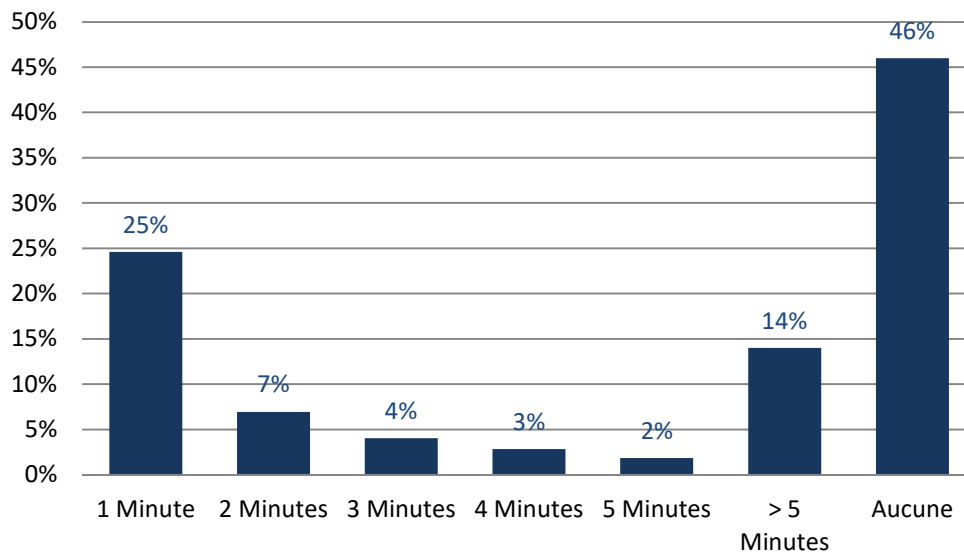


Figure 52 : Proportion du nombre d'Utilisation en fonction du Δ Temps à la précédente utilisation (base totale)

46% des utilisations (incluant les arrêts « hors circulation ») sont les premières du trajet. La proportion d'utilisations qui interviennent à la suite d'une autre reste non négligeable. Ainsi, 25% des utilisations interviennent moins d'une minute après la précédente. Le pourcentage diminue ensuite rapidement de manière continue (la courbe descendante se poursuit pour les durées agrégées dans la colonne « > 5 min »). La durée de 1 minute est donc conservée pour caractériser la durée maximale séparant deux utilisations d'une même séquence¹ dont on va analyser les facteurs d'engagement et les impacts.

En récapitulant il y a donc 3 « granularités temporelles » définies dans ce rapport :

1. L'image : Est-ce qu'une détection de téléphone est positive sur cette image ? Il s'agit d'une valeur instantanée, sans suivi dans le temps.
2. L'utilisation : A-t-on une détection de l'utilisation continue du smartphone sur plusieurs *images* successives ? Ce sont ces fenêtres d'utilisation qui ont été construites par consolidation temporelle (cf. Consolidation temporelle des détections, page 23) et étudiées dans la partie précédente (cf. Quels sont les facteurs influençant l'utilisation du téléphone ?, page 46)

¹ Il est important de noter que ce résultat est très sensible aux erreurs de détection de types faux négatifs (FN), c'est-à-dire perte de détection des utilisations du smartphone. On peut prendre l'exemple d'une utilisation qui se fait à la limite du champ de vision de la camera et d'un téléphone qui rentre, puis qui sort, puis rentre à nouveau dans le champ entraînant une détection intermittente et autant de nouvelles utilisations. Afin de ne pas biaiser notre métrique, si l'écart de temps entre deux utilisation est inférieur à 10 secondes on considère qu'il s'agit d'une seule et même utilisation (cf. Consolidation temporelle des détections, page 21).

3. Les séquences d'utilisations. A-t-on plusieurs *utilisations* séparées par des phases de non-utilisation de moins d'une minute ? Ce sont ces séquences qui sont traitées ici.

EXEMPLE DE SEQUENCE D'UTILISATION

La Figure 53 ci-après présente un exemple de séquence de plusieurs utilisations du téléphone qui se suivent.

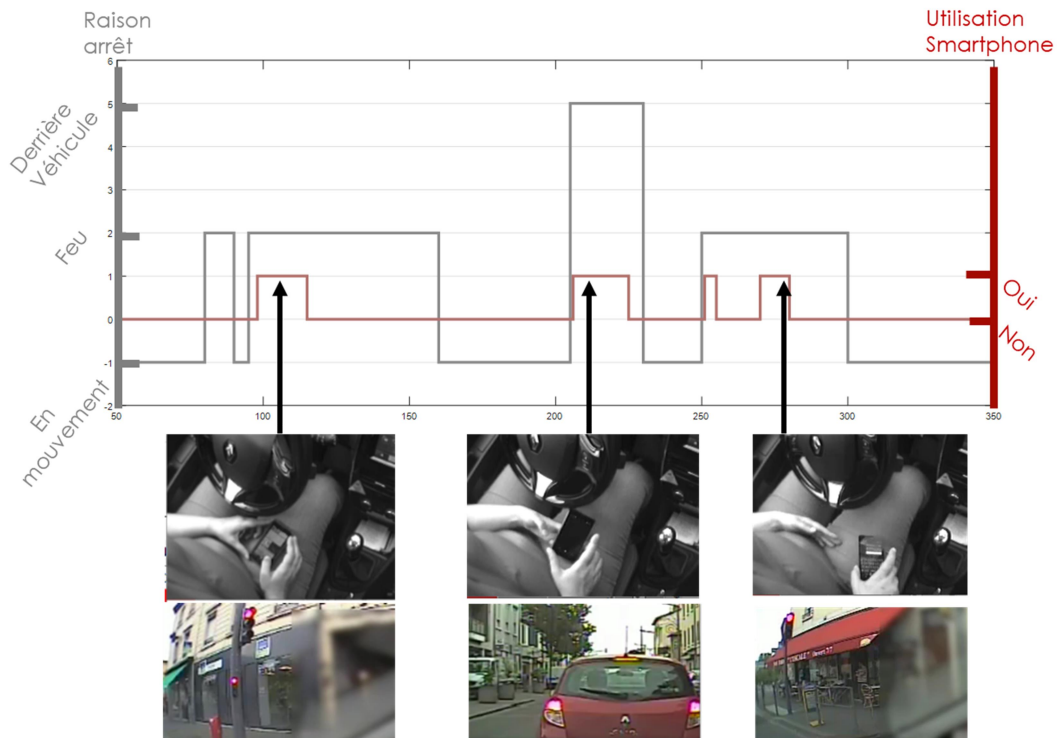


Figure 53 : Exemple de Séquences d'utilisations

Sur cette figure, sont représentés deux signaux à valeurs discrètes :

- La raison de l'arrêt **en gris**, ici les valeurs prises sont « En mouvement », « Feu » et « Derrière un véhicule » ;
- Utilisation du smartphone **en rouge**, 2 valeurs possibles, Oui/Non.

L'utilisation 1, qui intervient à $t = 100$ s environ, est la première de l'enregistrement et est suivie de plusieurs autres. C'est l'action qui initie cette séquence. Elle intervient durant une phase d'arrêt à un feu tricolore. Les utilisations 2 et 3 font partie de la séquence, qui est ensuite clôturée par la 4. La phase sans utilisation entre $t = 255$ s et $t = 270$ s est une « pause » durant laquelle le conducteur pose son téléphone avant de le reprendre très rapidement, et ce alors qu'il est arrêté à un même feu tricolore.

Cet exemple illustre trois problématiques sur les scénarios de manipulation du téléphone par ailleurs initiées dans l'étude de la littérature :

- Quelle est la proportion de séquences comportant des utilisations en mouvement ?

- Dans quelles conditions s’initialisent ces séquences ?
- Quelle est l’impact des séquences sur le risque d’utilisation du smartphone ? Et notamment sur le risque d’utilisation **en mouvement**.

3.4.2. CLASSIFICATION DES SEQUENCES EN FONCTION DU RISQUE ESTIME

Certaines de ces séquences se déroulent totalement hors circulation et ne présentent pas d’enjeux sécuritaires. A l’inverse des séquences ont des phases d’intermittence en mouvement et/ou à l’arrêt et auront un fort enjeu en termes de risque. On propose 4 catégories de séquences :

- Séquences exclusivement à l’arrêt hors circulation ;
- Séquences à l’arrêt en circulation ;
- Séquences initiées à l’arrêt avec utilisation en mouvement ;
- Séquences initiées en mouvement.

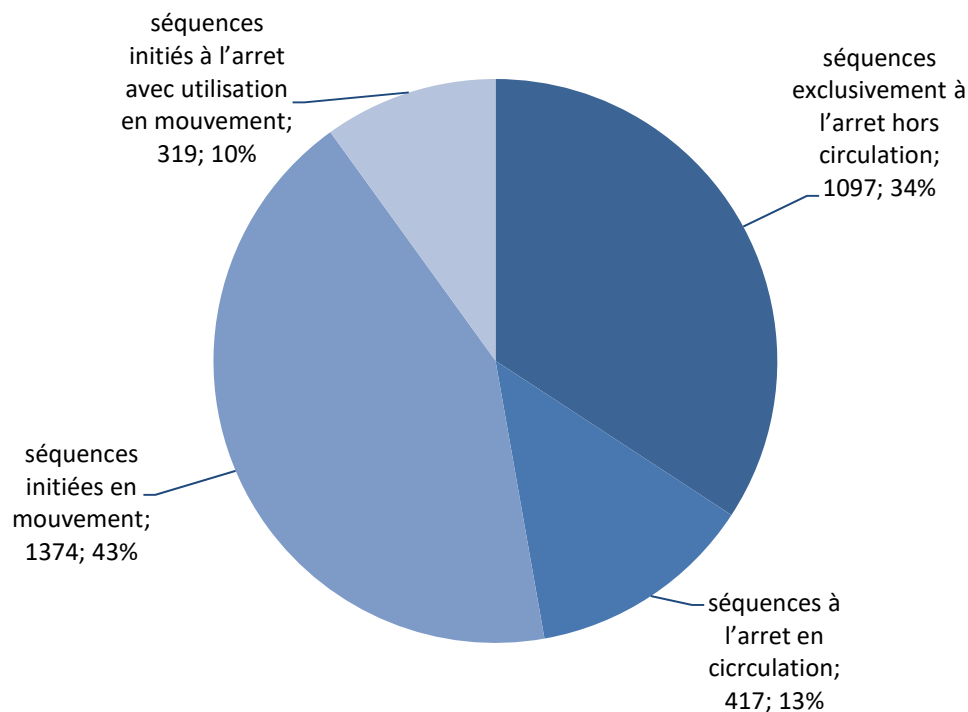


Figure 54 : Répartition du nombre de séquences en fonction de leur classification

Les séquences « exclusivement à l’arrêt hors circulation » sont réalisées intégralement lors d’arrêts hors circulation (i.e. garés ou en début/fin de trajet) et ne contiennent pas de phases de mouvement entre les utilisations. 1097 séquences répondent à cette classification.

Les séquences à l’arrêt en circulation sont des séquences réalisées uniquement lors d’arrêts en circulation. Elles diffèrent de la classification précédente car les arrêts concernés font partie de la « base en circulation » (« Feu tricolore », « Derrière un véhicule », « Détresse »). 417 Séquences répondant à ces critères ont été identifiées. Ces séquences comportent des utilisations qui se sont toutes réalisées à l’arrêt mais qui peuvent comporter un déplacement pendant les phases d’intermittence (c’est les cas de la séquence utilisée à titre d’exemple dans la Figure 53, page 78). La

mesure montre que 71% de ces séquences comporte ainsi des phases de mouvement entre les utilisations.

Les séquences initiées en mouvement présentent un risque évident. L'initiation en mouvement indique que le risque est directement « assumé » par le-la conducteur-trice, en fonction de sa perception de la sécurité dans le contexte de conduite du moment. 1374 séquences ont été ainsi initiées alors que l'ego-véhicule est en mouvement.

Les séquences initiées à l'arrêt suivi d'une utilisation en mouvement présentent un enjeu de sécurité particulier. En effet, ces séquences sont initiées à l'arrêt dans un contexte évalué comme sûr par les conducteur-trice-s mais sont poursuivies par une utilisation en mouvement avec un effet d'incitation par l'engagement issu de l'utilisation précédente. Il apparaît que 19% des séquences comportant au moins une utilisation en mouvement ont été initiées à l'arrêt, soit 319 séquences au total.

On émet l'hypothèse que la propension à continuer une séquence d'utilisation après l'arrêt, alors qu'on est en mouvement, dépend du type d'arrêt lors de l'initialisation. Pour répondre à cette hypothèse, on se propose d'analyser le nombre de séquences initiées qui comportent une utilisation en mouvement sur le nombre de séquences initiées totales, pour chaque type d'arrêt (cf. Figure 55).

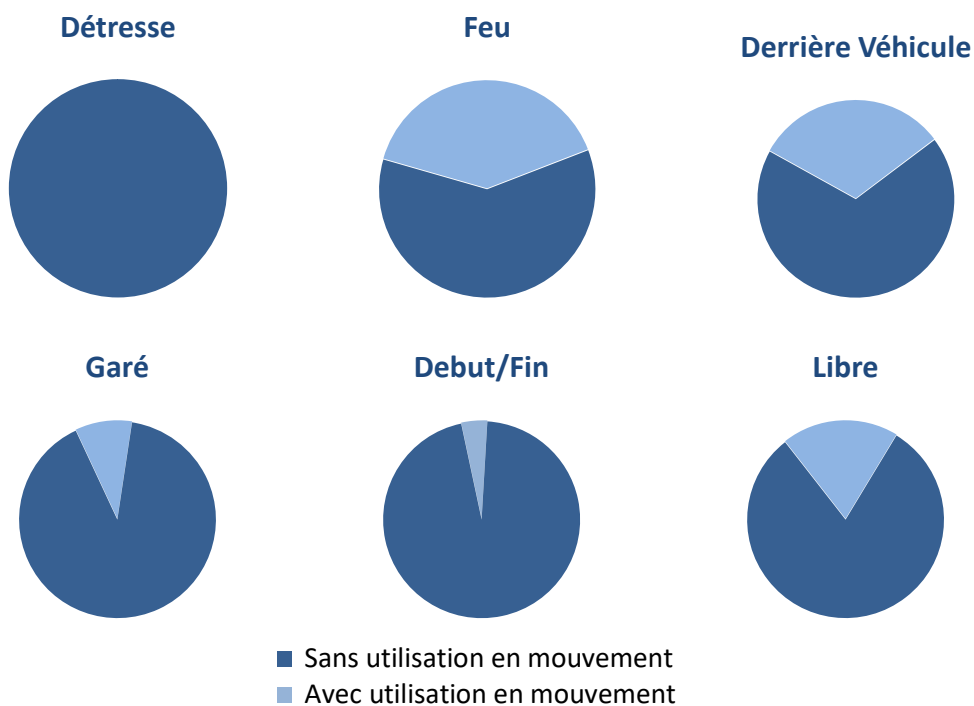


Figure 55 : Proportion des séquences avec au moins une utilisation en mouvement, pour les différentes conditions, d'initialisation

La figure ci-dessus montre que les séquences initiées pendant un arrêt temporaire en circulation (« à un feu » ou « derrière un véhicule ») ont le plus tendance à être suivies d'une utilisation en mouvement, avec respectivement, 40 % et 32 % de chance.

À l'inverse, la proportion des séquences initiées lors d'arrêt hors circulation est plus faible (de 4 % pour celles initiées au début d'enregistrements à 19 % pour les arrêts libres). Enfin il est intéressant de signaler qu'aucune utilisation pendant un arrêt en feux de détresse n'a initiée de séquence avec

utilisation en mouvement. Il est plausible qu'un conducteur, une fois arrêté et signalé, profite des feux de détresse pour finir sa tâche avant de repartir.

Ces données sont particulièrement intéressantes, car elles témoignent des tâches qui démarrent sans danger, parce qu'à l'arrêt, **mais qui entraînent une utilisation plus risquée en mouvement dans un futur proche.**

3.4.3 PROBABILITE D'UTILISATION EN SEQUENCES

UTILISATION APRES UN ARRET

On cherche ensuite à vérifier que l'utilisation du smartphone à un arrêt dans un passé proche augmente la probabilité d'une nouvelle utilisation, particulièrement en mouvement. Pour ce faire, on compare la probabilité d'avoir une utilisation suivant un arrêt en fonction d'une utilisation ou non pendant cet arrêt (cf. Table 24 ci-après)

Table 24 : Proportion d'utilisations du téléphone pendant, et après un arrêt.

Type d'arrêt	Détresse	Feu	Début / Fin	Garé	Derrière un véhicule	Libre
Nombre total	3 284	79 328	50 086	10 593	72 585	56 725
Proportion avec Utilisation	5.4%	3.9%	10.5%	5.7%	4.9%	3.3%
Proportion suivie d'utilisation en mouvement si utilisation pendant l'arrêt	9.0%	37%	3%	17%	61%	38%
Proportion suivie d'utilisation en mouvement sans utilisation pendant l'arrêt	0.3%	1.0%	0.2%	1.0%	1.6%	1.3%
odd-ratios	33	58	15	20	96	47

Les odd-ratios calculés peuvent se définir comme le rapport de cotes associées à la probabilité d'apparition d'un évènement. On obtient ici une utilisation en mouvement 58 fois plus cotés après un arrêt « à un feu » si le smartphone a été utilisé pendant l'arrêt. Conformément à l'hypothèse de recherche, **les résultats indiquent une augmentation drastique de la probabilité d'une utilisation en mouvement après un arrêt si celui-ci a lui-même été le théâtre d'une utilisation.**

UTILISATIONS SUCCESSIVES

De façon plus générale, on cherche désormais à quantifier l'impact d'une utilisation passée (à l'arrêt ou non) sur la probabilité d'avoir une nouvelle utilisation en mouvement dans la minute qui vient. Alors que les résultats précédents se concentrent sur les périodes suivant directement les arrêts, les résultats présentés Table 25 et Figure 56 ci-après comparent le risque d'une utilisation en mouvement sur toute la base, en fonction d'une éventuelle utilisation passée et du type de route.

Table 25 : Probabilité d'utilisation du smartphone en mouvement, en fonction du type de route et d'une utilisation antérieure

Type de route	Urbain	Rural	Autoroute	Autoroute Urbaine	Inconnu	Total
Nombre Utilisation ponctuelle	2 174	1 355	1 016	111	609	5 265
Nombre de séquences	826	421	238	37	157	1 679
Temps sans utilisation (min)	288 954	174 767	103 260	14 421	54 959	636 362
Temps d'utilisation (min)	2 499	1 506	1 118	126	655	5 903
Probabilité d'utilisation dans la minute, sans utilisation précédente	0.7%	0.8%	1.0%	0.8%	1.1%	0.8%
Probabilité d'utilisation dans la minute, avec utilisation précédente	38.0%	31.1%	23.4%	33.3%	25.8%	31.9%
odd-ratio	87	56	30	62	31	58

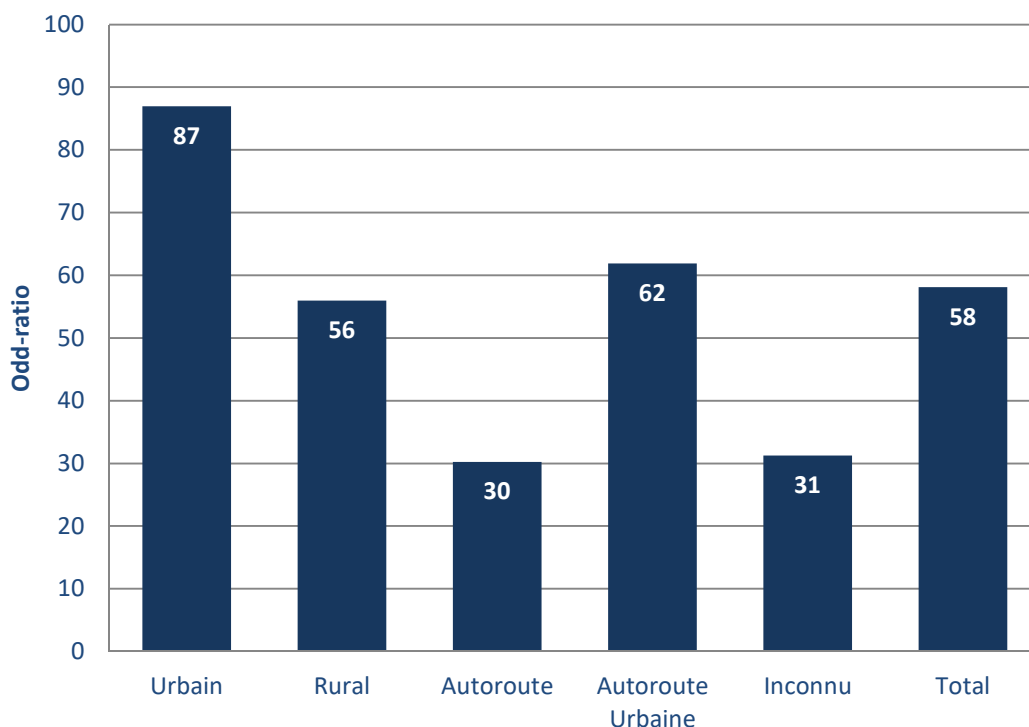


Figure 56 : odd-ratio de l'utilisation en mouvement du téléphone si, une utilisation précédente est intervenue, ou non, en fonction du type de route

On observe en moyenne 58 fois plus de probabilité d'apparition d'une nouvelle utilisation en mouvement pour tous les types de route, si une utilisation dans un passé proche a été détecté. L'augmentation drastique de probabilité se retrouve pour tous les types de routes, et est la plus forte en milieu urbain

3.4.3. SYNTHÈSE SUR LES SCÉNARIOS TYPIQUES DE MANIPULATION

L'analyse des utilisations du smartphone au volant a démontré qu'une part non négligeable des utilisations ne sont pas ponctuelles mais au contraire se suivent les unes les autres. Ainsi 33% du total des utilisations, toute modalité confondue, est impliquée dans une séquence, en considérant un écart entre les utilisations inférieur à une minute.

L'étude précédente a démontré l'impact que les phases d'arrêt ont sur la probabilité d'utilisation du smartphone, on retrouve cet impact avec **presque 60% des séquences d'utilisations qui ont été initiées à l'arrêt**. Par ailleurs, parmi les séquences comportant au moins une utilisation en mouvement, 19% ont été initiées à l'arrêt.

Ces séquences constituent un scénario de manipulation du smartphone ayant un fort enjeu sécuritaire. En effet **la probabilité d'avoir une utilisation du smartphone en mouvement est plus que décuplée après une utilisation à l'arrêt, avec des odd-ratios supérieurs à 50**. Ceci montre que les utilisations ne doivent pas seulement être considérées comme une distraction sur l'instant mais comme une séquence plus longue avec intermittence de phases d'utilisation. D'un point de vue comportemental, deux hypothèses non exclusives sont avancées pour expliquer l'ampleur de ces résultats. La première serait que certaines tâches secondaires (rédaction d'un message, choix de

musique, configuration de la navigation...) sont trop compliquées pour être effectuées en une seule fois si l'égo-véhicule ne stationne pas pendant plusieurs dizaines de secondes. Ces tâches se retrouvent alors fragmentées sur une séquence d'utilisations. La seconde hypothèse serait qu'**après la première utilisation du smartphone au volant et donc la première transgression des règles de conduite, le-la conducteur·trice est désinhibé·e et sera plus enclin·e à réutiliser son smartphone.**

A la lumière de ces résultats, l'impact sur la conduite de ces tâches secondaires sera considéré à la fois pendant les phases d'utilisation mais également pendant les phases d'interruptions entre deux utilisations.

3.5. QUELS SONT LES IMPACTS DE L'UTILISATION DU TELEPHONE SUR LA CONDUITE ?

Les deux questions de recherche précédentes ont permis d'identifier les contextes routiers influençant la fréquence d'utilisation du smartphone, ainsi que des séquences types de manipulations au volant. Nous émettons désormais l'hypothèse que l'utilisation du téléphone pendant ces séquences réduit la concentration du conducteur, dégradant ainsi la qualité de conduite. Pour infirmer ou confirmer cette hypothèse, nous avons construit un jeu d'indicateurs mesurant la qualité de conduite, en se concentrant sur le contrôle longitudinale et latéral du véhicule (cf.-Avertissement de sécurité, page 34).

La complexité de l'environnement de conduite rend difficile l'évaluation de la qualité de conduite en temps réel par un indicateur simple. Par exemple, la décélération longitudinale du véhicule au-dessus d'un certain seuil peut être due à un manque de concentration et d'anticipation du conducteur, mais aussi à l'infrastructure (arrivée sur un rond-point), à un comportement agressif d'un autre usager, ou même à une combinaison de ces facteurs. En revanche, il est possible d'analyser la fréquence d'apparition d'évènements particuliers sur l'intégralité de la base, et d'étudier si cette fréquence **varie de façon significative** en fonction du contexte et du comportement du conducteur, notamment en cas d'utilisation du smartphone. Pour notre analyse, il s'agit de comparer la fréquence d'apparition d'évènements détectés par des critères objectifs, selon que le conducteur manipule son téléphone ou non.

A la lumière des analyses précédentes, voici les différentes modalités de manipulation du téléphone retenues pour l'analyse d'impact sur la conduite :

0. « **Sans utilisation** » : Ni utilisation, ni séquence détectée.
1. « **À la main** » : Téléphone tenue à la main.
2. « **À l'oreille** » : Téléphone tenu à l'oreille².
3. « **Entre deux utilisations** » : Il s'agit des phases d'intermittence entre deux utilisations au cours d'une séquence d'utilisations (séparées de moins d'une minute les unes des autres).
4. « **Après utilisation** » : Période de 10 secondes pour les utilisations ponctuelles ou clôturant les séquences d'utilisation. On émet l'hypothèse que la concentration d'un conducteur (particulièrement si son regard est détourné) est affectée pendant cette courte période de temps. La période de 10 secondes correspond à la durée minimale d'interruption considérée comme plausible (temps nécessaire pour poser son téléphone, puis reprendre son téléphone) établit dans la partie Consolidation temporelle des détections.

L'analyse de l'impact des utilisations du smartphone sur la conduite implique que l'égo-véhicule soit en mouvement.

² Nous avons observé de très rares cas où le conducteur-trice manipule simultanément deux téléphones : l'un « à l'oreille », l'autre « à la main ». Ces cas, systématiquement à l'arrêt donc sans impact sur la conduite, sont comptabilisés comme « À la main ».

Parmi les 110 heures qui constituent le 1% de la base avec utilisation du smartphone, la distribution des différentes modalités définies précédemment est représentée dans la Figure 57 suivante.

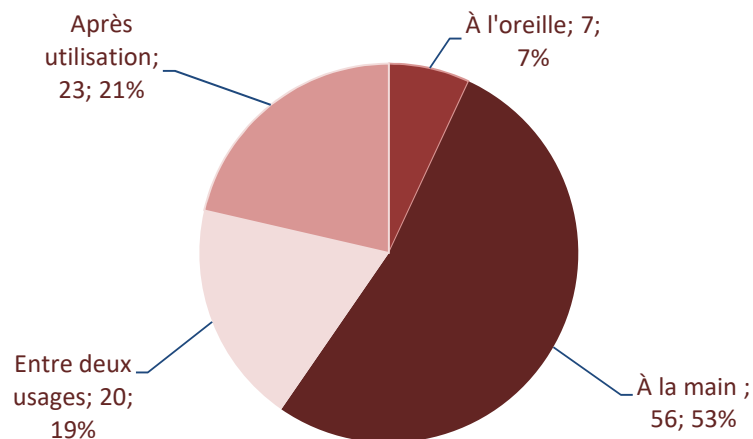


Figure 57 : Nombres d'heures d'enregistrement en mouvement en fonction du type d'utilisation

Pour confirmer notre hypothèse nous devons donc démontrer que les avertissements de sécurité interviennent plus souvent pendant les phases d'utilisation, ce que nous testerons pour chacune des modalités qui viennent d'être présentées.

3.5.1. IMPACT SUR LE CONTROLE LONGITUDINAL

Pour mesurer l'impact de la sécurité longitudinale, on s'intéresse à la fréquence des avertissements de collision frontale (cf. Avertissement de sécurité longitudinale (Forward Collision Warning), page 35). Pour rappel, ces avertissements proviennent d'une caméra intelligente embarquée, et sont ensuite filtrés sur le TTC (Time To Collision) et la vitesse de l'égo-véhicule pour ne conserver que les plus critiques. La variation du nombre d'événements détectés en fonction de l'utilisation du smartphone est décrite dans la Table 26 et la Figure 58 ci-après.

Table 26 : Fréquence des avertissements frontaux en fonction de l'utilisation du smartphone

	Heures	Nombre d'avertissements	Fréquence des avertissements (h ⁻¹)	Nombre d'avertissements filtrés	Fréquence des avertissements filtrés (h ⁻¹)
« Sans utilisation »	10062	59657	5.93	4703	0.47
« À la main »	56	633	11.30	67	1.20
« À l'oreille »	9	79	8.78	12	1.33
« Entre deux utilisations »	21	271	12.90	24	1.14
« Après utilisation »	23	293	12.74	18	0.78

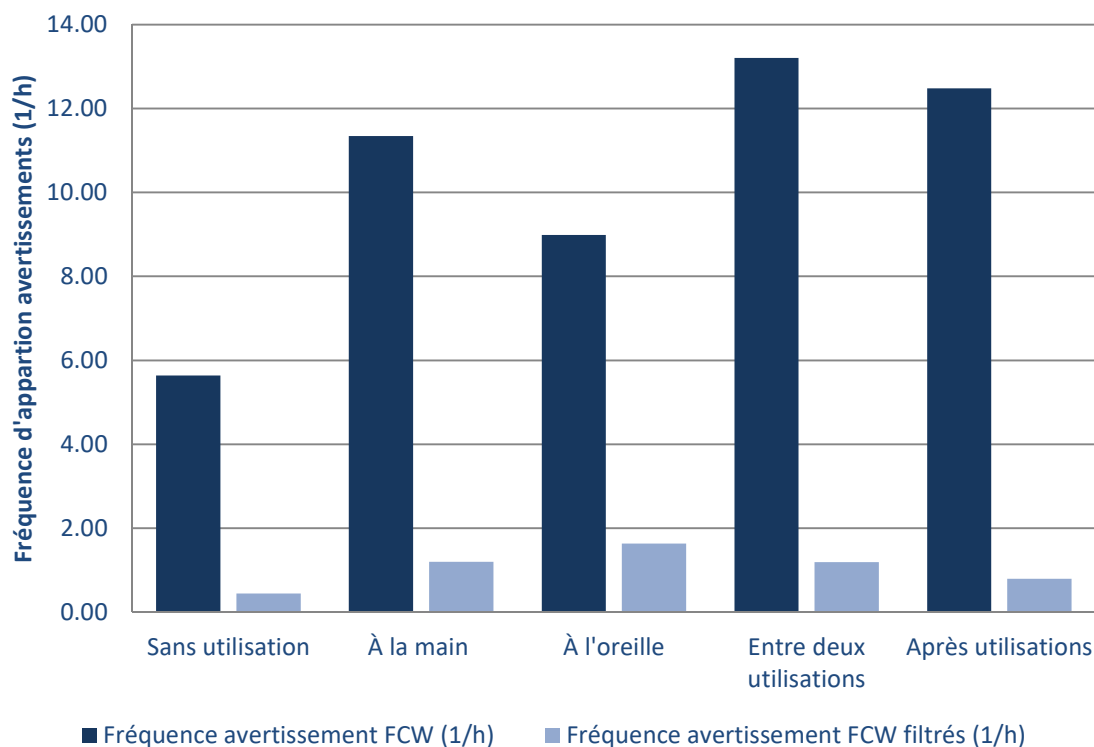


Figure 58 : Fréquence d'apparitions d'avertissements de collision frontale en fonction du type d'utilisation

Afin de comparer le risque d'apparition d'un avertissement en fonction de l'utilisation du téléphone, on calcule la probabilité d'avoir un avertissement dans la minute. On calcule ensuite les odd-ratios correspondants au rapport de cotes en fonction de la modalité d'utilisation du smartphone (cf. Table 27 et Figure 59).

Table 27 : Probabilité d'avertissements frontaux, en fonction de l'utilisation du smartphone

	Probabilité Avertissement dans la minute (%)	odd-ratios "No Use"	Probabilité Avertissement <u>filtré</u> dans la minute (%)	odd-ratios "No Use"
« Sans utilisation »	9.882	1	0.779	1
« À la main »	18.839	2.117	1.994	2.591
« À l'oreille »	14.630	1.563	2.222	2.895
« Entre deux utilisations »	21.508	2.499	1.905	2.473
« Après utilisation »	21.232	2.458	1.304	1.683

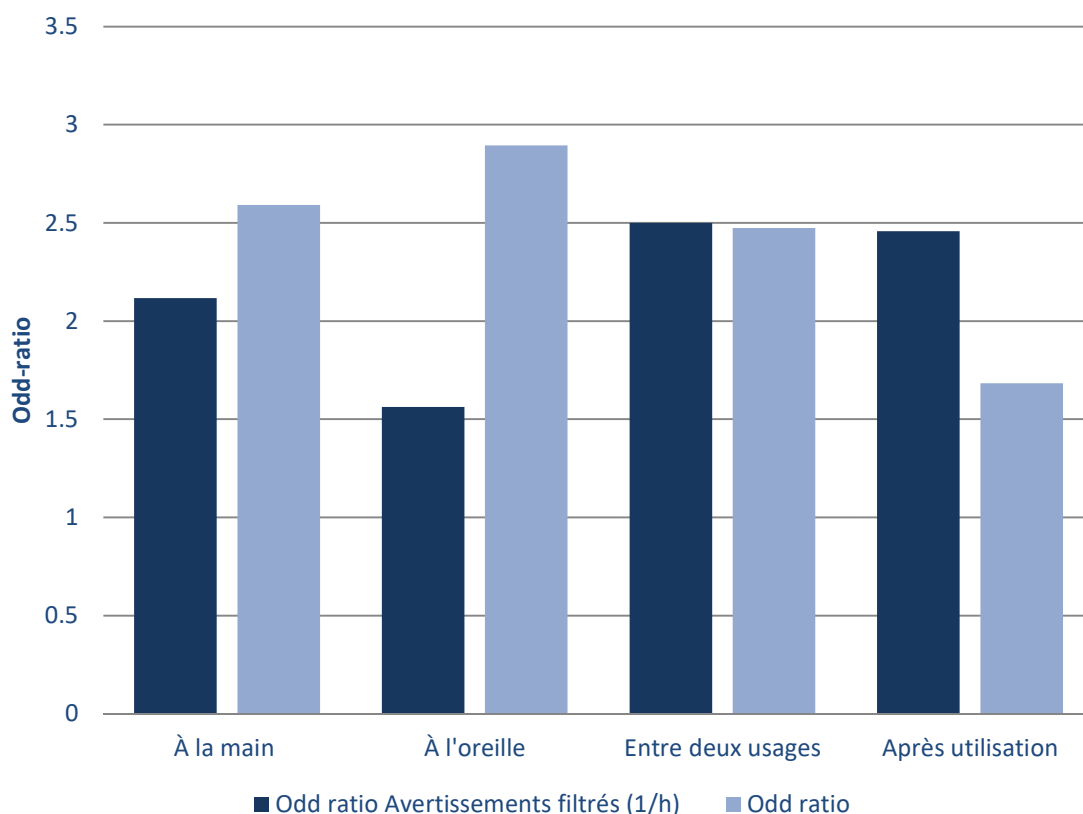


Figure 59 : Rapport de Fréquences d'apparition d'avertissements de collision frontale en fonction du type d'utilisation

Une augmentation très importante des fréquences des avertissements est présente lors de l'utilisation du téléphone, avec un odd-ratio supérieur à 2. De plus, la fréquence d'apparition pendant les séquences entre deux d'utilisations est également très élevée avec un odd-ratio supérieur à 2. Les phases « après utilisation » voient également une augmentation de la fréquence d'apparition d'avertissement de collision frontale.

Les avertissements longitudinaux interviennent typiquement lors d'un défaut d'attention du conducteur vers la scène routière : la réduction forte d'une marge de sécurité ou le manque d'anticipation de la trajectoire d'un autre véhicule amène la nécessité d'une correction brutale, souvent par un freinage. La distraction visuo-manuelle de l'utilisation « à la main » explique bien ce retard de réaction, principalement en raison du manque de suivi visuel de la scène de conduite. Il est en revanche particulièrement intéressant de noter que le nombre d'alerte « à l'oreille » ou « entre deux utilisations » est équivalent, voire plus élevé, alors que cette distraction visuelle n'est pas censée être présente. Ces alertes semblent donc dues à la distraction cognitive induites par la tâche en cours.

3.5.2. IMPACT SUR LE CONTROLE LATERAL

La mesure du contrôle latéral s'effectue par la fréquence d'apparition d'avertissements de franchissement de ligne émis par la caméra intelligente embarquée. La détection d'un tel franchissement de ligne se base intégralement sur la perception du marquage au sol. Cette perception ne fonctionne pas dans tous les environnements, elle nécessite un marquage au sol qui

doit être existant (ce qui n'est pas toujours le cas en milieu urbain) et visible par la caméra (risque d'occlusion par les autres véhicule dans les bouchons). Afin de déterminer les conditions d'applicabilité de notre indicateur de contrôle latéral, on analyse la proportion du temps où la détection de marquages est valide, en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule (cf. Figure 60 ci-après).

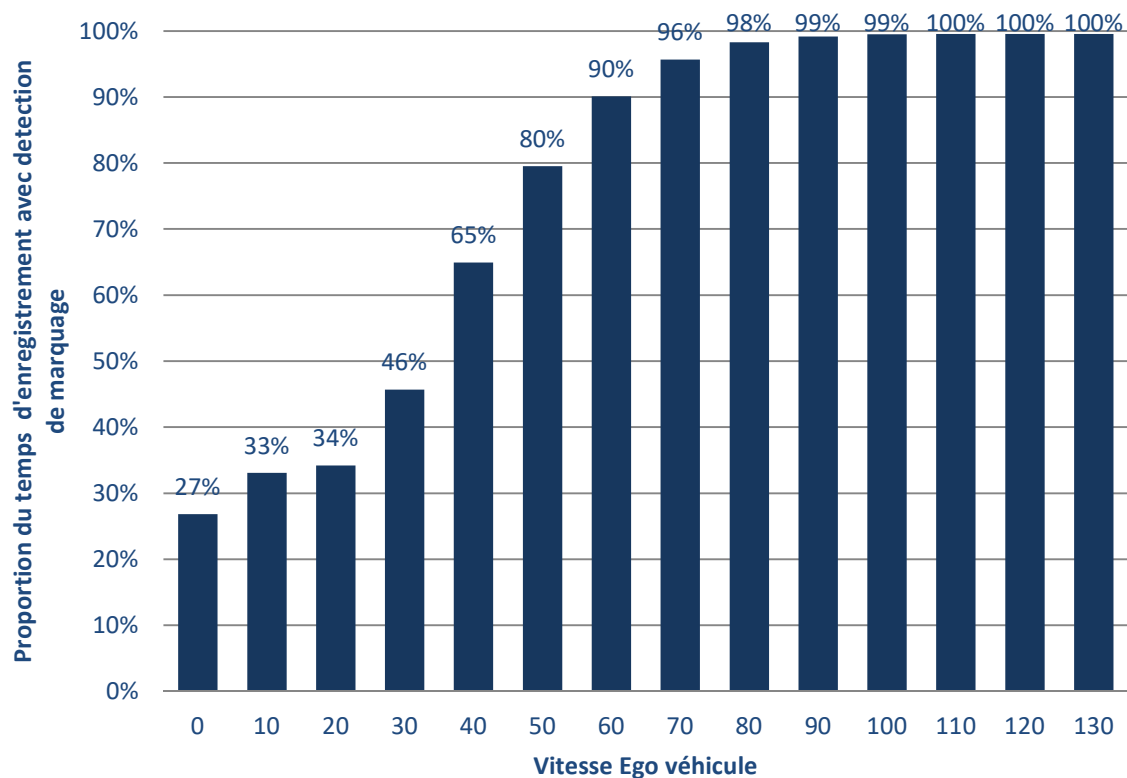


Figure 60 : Proportion du temps où la détection de marquage est valide en fonction de la vitesse égo-véhicule

On observe qu'en dessous de 50 km/h, la détection de marquage, et donc d'avertissement sur le contrôle latéral, n'est disponible que dans 80% de cas. Pour des vitesses inférieures ce taux est encore plus bas. Toujours en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule, on représente la proportion cumulée d'avertissements de franchissement de ligne dans la Figure 61 suivante.

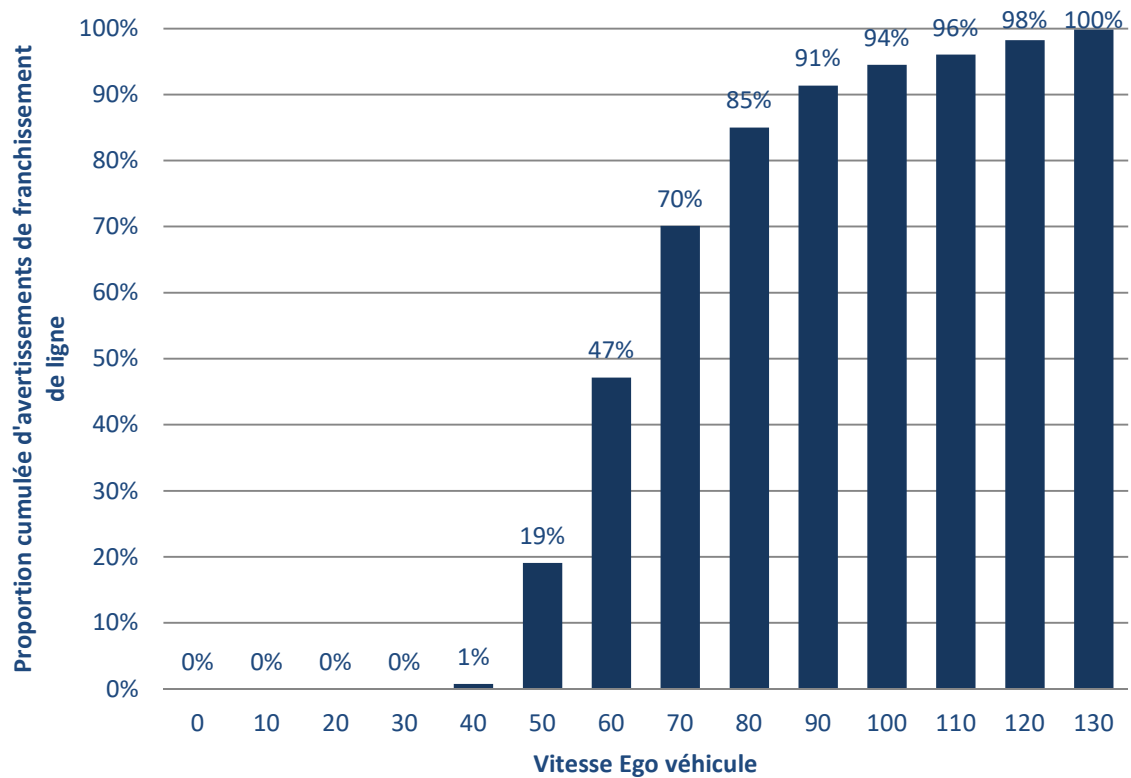


Figure 61 : Proportion cumulée d'avertissements de franchissement de ligne reçus en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule

On observe que seul 1% des avertissements interviennent en dessous de 50 km/h. Compte tenu de ces résultats, l'analyse des avertissements latéraux sera faite sur les extraits à une vitesse supérieure à 50km/h, avec détection fonctionnelle du marquage par la caméra. 4782 heures d'enregistrement remplissent ces conditions.

Sur cet extrait, la distribution des différentes modalités d'utilisation du smartphone définies précédemment est représentée dans la Figure 62 ci-après. On y observe une distribution des modalités très proche de celle observée sur la base complète (cf. Figure 57, page 86).

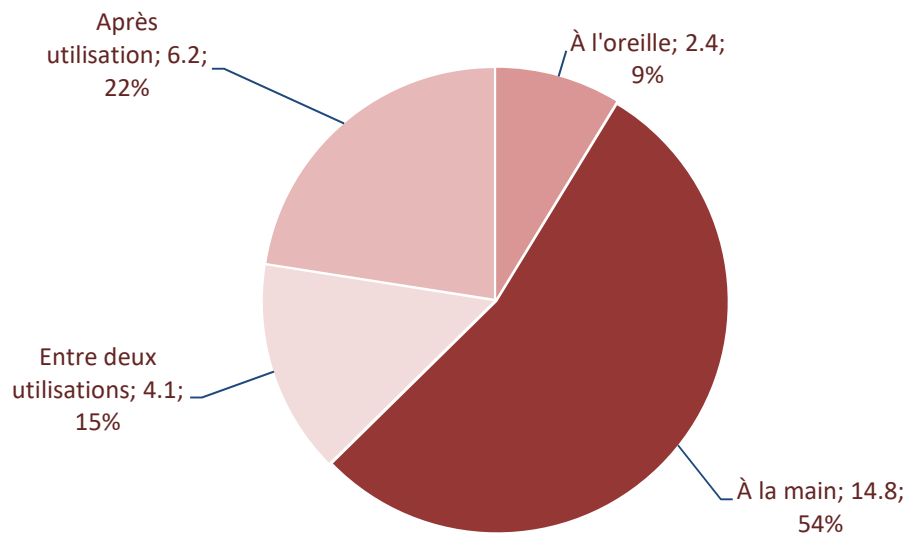


Figure 62 : Nombres d'heures d'enregistrements avec détection de marquages fonctionnelle en fonction du type d'utilisation du smartphone

La détection du nombre d'avertissements latéraux sur cet extrait, en fonction de l'usage du smartphone, donne les résultats présentés Table 28 et Figure 63 ci-après.

Table 28 : Fréquence des avertissements latéraux en fonction de l'utilisation du smartphone

	Heures	Nombre d'avertissements	Fréquence des avertissements (h ⁻¹)
« Sans utilisation »	4754.76	72473	15.24
« À la main »	14.80	367	24.81
« À l'oreille »	2.42	42	17.37
« Entre deux usages »	4.07	71	17.41
« Après utilisation »	6.24	96	15.38

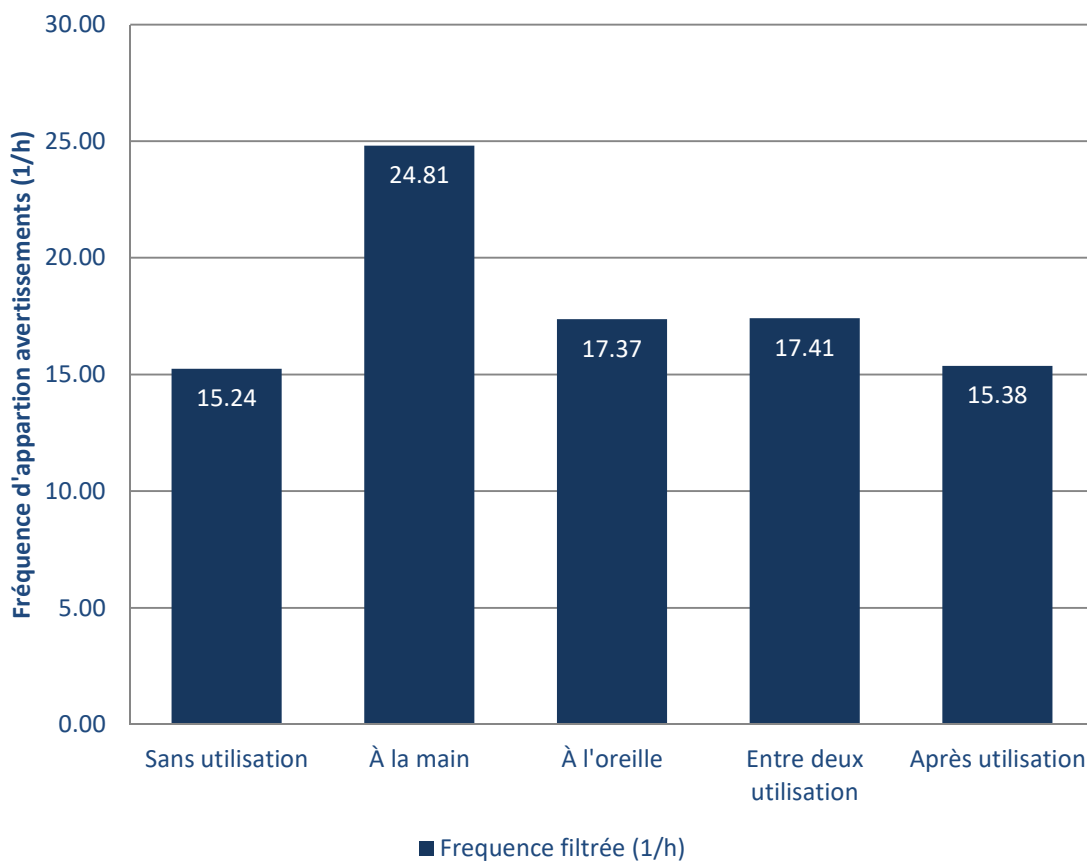


Figure 63 : Fréquence d'apparition d'avertissements de contrôle latéral en fonction du type d'utilisation

Les odd-ratios associés aux probabilités d'apparition des avertissements de franchissement de ligne en fonction de l'utilisation du téléphone sont présentées dans la Table 29 et la Figure 64 suivantes.

Table 29 : Probabilité d'avertissements latéraux, en fonction de l'utilisation du smartphone

	Probabilité Avertissement dans la minute (%)	odd-ratios « Sans utilisation »
« Sans utilisation »	25.40%	1.00
« À la main »	41.35%	2.07
« À l'oreille »	28.95%	1.20
« Entre deux utilisations »	29.02%	1.20
« Après utilisation »	25.63%	1.01

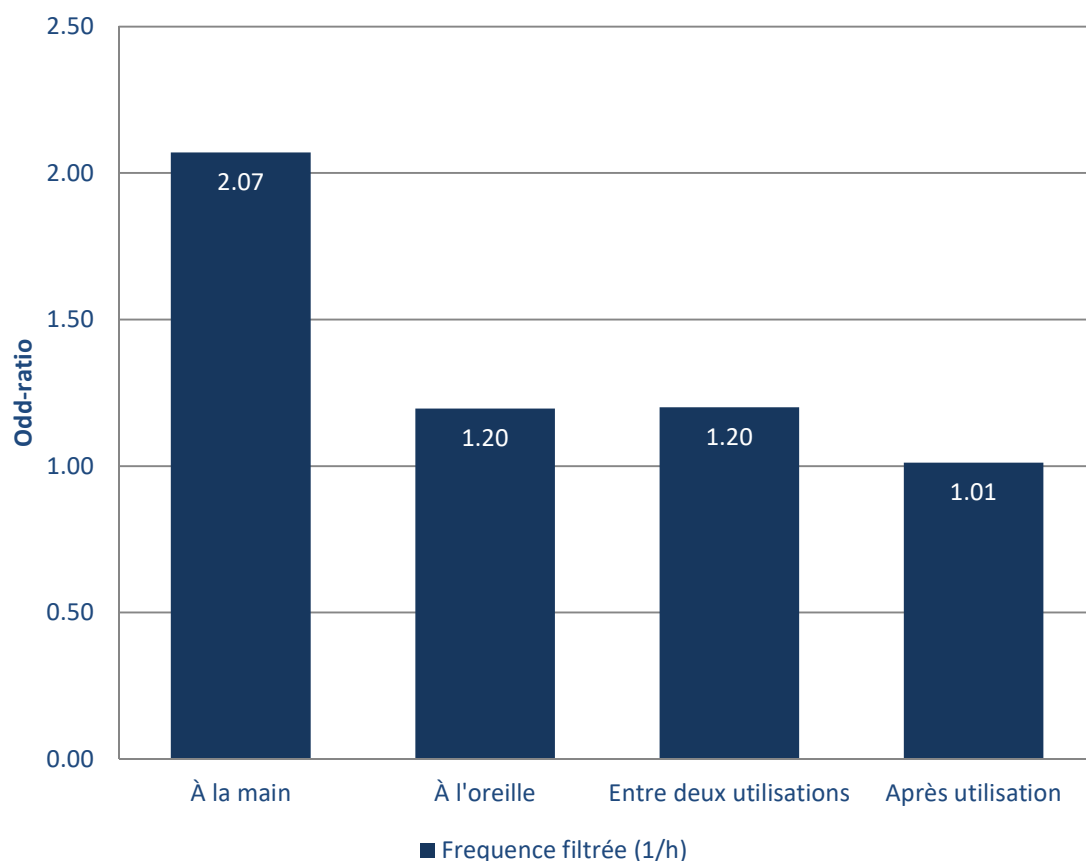


Figure 64 : Fréquence d'apparition d'avertissements de contrôle latéral en fonction du type d'utilisation

La première observation est que la fréquence d'apparition d'avertissements est significativement plus élevée lorsqu'on utilise le smartphone « À la main » avec un odd-ratio légèrement supérieur à 2. C'est un résultat significatif (la p-value associée à cette distribution du nombre d'avertissements en fonction de l'utilisation du smartphone est inférieure à 0.0001 ; on peut donc réfuter l'hypothèse H0 avec une confiance supérieure à 99,9 %) et en accord avec notre hypothèse d'une déconcentration amenant à des écarts de trajectoire de la part du conducteur·trice.

La seconde observation est le faible nombre d'avertissements de franchissements de lignes détectés pendant une utilisation « à l'oreille », 42 sur toute la base. Ces 42 événements ne concernent que 10 des 43 conducteur·trice·s de l'étude, les deux principaux contributeur·trice·s étant responsables de, respectivement, 43% et 19% du total des avertissements (26/42). Ce résultat est cohérent avec l'analyse sur les fréquences d'utilisation qui montre que peu de conducteur·trice·s utilisent leur smartphone « à l'oreille » (cf. Figure 23, page 43). En ne considérant que les modalités « Sans utilisation » et « A l'oreille » la p-value associée à la distribution précédente est de 0.4, **ce qui ne nous permet pas de réfuter l'hypothèse H0 avec une confiance satisfaisante**. L'odd-ratio légèrement supérieur à 1 pour l'utilisation « à l'oreille » n'est donc pas significatif, et nous ne pouvons pas, avec nos indicateurs, conclure à une détérioration du contrôle latéral pendant l'utilisation à l'oreille. Ce résultat, s'il n'est pas intuitif, reste cohérent avec la littérature scientifique. Lors d'un appel téléphonique, il a été montré que le temps de regard sur la route augmente, ce qui améliore la stabilité dans la voie (Fitch, 2013). De plus on peut faire l'hypothèse que les

conducteur-trice-s ont tendance à choisir des moments où la conduite est stable et où l'environnement est moins complexe à gérer (notamment avec une sinuosité limitée), pour émettre leurs appels.

Enfin, de façon analogue à l'utilisation « à l'oreille », on ne retrouve pas de dégradations significatives du contrôle latéral entre deux utilisations ou juste après une utilisation.

3.5.3. SYNTHÈSE IMPACT SUR LA CONDUITE

Le jeu d'indicateurs construit pour mesurer l'impact de l'utilisation du smartphone sur la qualité de la conduite permet de mettre en lumière, pour certains types d'utilisations, une déconcentration amenant à une multiplication des avertissements de sécurité détectés par la caméra intelligente embarquée. Les deux types d'avertissements couvrent des cas d'usages distincts, les avertissements frontaux intervenant en majorité à faible vitesse, lors de redémarrage en bouchon ou à un feu, les avertissements latéraux sont eux détectés exclusivement à plus de 50km/h, lorsque la voie de circulation de l'égo-véhicule est clairement signalisée. Le nombre d'avertissements totaux détectés sur la base (environ 61 000 avertissements de collision frontale non filtrés et 75 000 avertissements de franchissement de ligne) permet d'obtenir des chiffres significatifs sur l'impact ou non de l'utilisation du smartphone sur la fréquence d'apparition de ces avertissements.

L'utilisation « À la main » est le type de manipulation le plus fréquent avec environ 24 fois plus d'utilisation qu'« À l'oreille ». C'est aussi celle qui présente l'impact le plus important sur la conduite, avec une **probabilité doublée pour les avertissements de collision frontale et de franchissements de ligne**. Cet impact s'explique par le caractère très distrayant de ce type d'utilisation qui, en plus d'occuper une main, détourne le regard. Lors d'une utilisation à faible vitesse, par exemple en bouchon, le conducteur évalue le temps pendant lequel il peut quitter le trafic des yeux mais, en cas de ralentissement, il s'expose à se retrouver avec des marges de sécurité très faibles. À plus haute vitesse, si le trafic est plus stabilisé, ce sont les déviations latérales qui deviennent limitantes : l'absence de contrôle visuel amène le conducteur à dévier de sa trajectoire.

L'utilisation « à l'oreille » est moins fréquente et présente des effets plus contrastés. Quand il utilise son téléphone « à l'oreille », le conducteur choisit une infrastructure routière favorable, notamment en termes de sinuosité. Ensuite, il fixe son regard sur la zone de conduite. Le pilotage latéral du véhicule, largement basé sur des automatismes de correction continue, ne présente ainsi pas de détérioration significative pendant ces phases d'utilisation « à l'oreille », selon nos indicateurs. En revanche, la distraction cognitive et l'« effet tunnel » lié à la focalisation de l'attention du conducteur limite l'exploration active de l'environnement et l'anticipation des changements à venir. Le conducteur peut se retrouver surpris et plus lent à réagir en cas de perturbations du trafic. En résulte une détérioration du contrôle longitudinal, marquée par une augmentation significative de la fréquence des avertissements associés.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif du projet USCOMA est d'identifier et de comprendre les usages du smartphone au volant des conducteur-trice-s français-es. Alors que les smartphones sont devenus omniprésents dans nos vies en à peine une décennie, occupant plus de 20% de notre temps éveillé, peu d'outils ont le recul nécessaire permettant de prendre la mesure de l'impact de cette rupture technologique sur la conduite. Les travaux menés dans le cadre du LOT1 du projet USCOMA, et rapportés dans ce document, explorent l'utilisation combinée de deux outils pour appréhender ces nouveaux usages : UDRIVE, la base de données en conduite naturelle la plus riche collectée en Europe ces dernières années, et un algorithme de reconnaissance d'images, basé sur un modèle de machine-learning, permettant l'identification des utilisations du smartphone sur cette base.

L'utilisation de la base UDRIVE pour analyser ces usages a plusieurs justifications. Premièrement il s'agit de données « en conduite naturelle », c'est-à-dire que les participant-e-s utilisent leur propre véhicule, pour leurs propres déplacements. Ils-elles ne reçoivent aucune consigne. Ce sont donc des comportements naturels et représentatifs. Ensuite, cette base est suffisamment étendue (12 500 heures, 43 conducteurs pour la base française) pour avoir une diversité de profils et le volume de données requit pour avoir des résultats significatifs. Enfin, les données enregistrées permettent à la fois de caractériser en continu le contexte routier de façon précise et détaillée, et également de détecter, à partir des enregistrements vidéo de l'habitacle, certains comportements du conducteur, en l'occurrence l'utilisation du smartphone. Ce dernier point a été rendu possible à la fois par l'utilisation d'algorithmes innovants de traitement d'images utilisant un modèle de machine-learning, et également par un effort important d'annotation de nos données (presque 50 000 images annotées manuellement) permettant d'entraîner ce modèle. Ces développements, une fois mis en production de façon efficace et robuste dans le respect de la confidentialité des données, ont permis une détection en continu de l'utilisation du smartphone « À la main » et « À l'oreille », économisant ainsi les 7 ans minimum de travail à plein temps qu'il aurait été nécessaire pour annoter manuellement l'intégralité de la base.

Grace à cette méthode, plus de 22 000 utilisations du smartphone au volant ont été détectées et ont pu être caractérisées. La première tendance observée est une utilisation près de 24 fois plus fréquente du smartphone à la main qu'à l'oreille qui confirme que les téléphones, ou plus exactement les smartphones, sont paradoxalement peu utilisés pour téléphoner. Le second résultat est une grande variabilité de fréquence d'utilisation entre les participant-e-s à l'étude avec un rapport de 1 à 100 dans l'utilisation « à la main ». Cela indique qu'il faut intégrer un nombre conséquent de participants aux études sur ce sujet pour avoir des résultats significatifs. Un troisième résultat marquant est la grande variabilité d'usages selon le contexte routier, avec une **utilisation bien plus fréquente en milieu urbain**, qui présente pourtant les interactions en conduite les plus complexes à gérer. Dans une moindre mesure, on retrouve des utilisations « à la main » également plus fréquentes sur autoroute.

La diversité de ces usages possède cependant un point commun : la sensibilité à la vitesse de l'ego-véhicule. On retrouve ainsi, quel que soit le contexte et le type d'utilisation, une diminution de la fréquence d'utilisation lorsque la vitesse augmente, jusqu'à un seuil d'environ 60 km/h au-delà duquel cette fréquence semble rester constante malgré le risque accru pour le-la conducteur-trice et les autres usagers. A l'inverse, la fréquence d'utilisation est particulièrement élevée à faible vitesse

(<20 km/h). Le maximum de cette fréquence est d'ailleurs atteint à l'arrêt avec des utilisations qui se font dans le cadre de scénarios typiques de manipulation, tels que les bouchons, l'attente dans une file de véhicules, ou à un feu rouge. Si ces utilisations présentent peu de risque en elles même (parce qu'à l'arrêt) on a démontré qu'elles débouchent sur **une probabilité plus de 50 fois plus importante d'avoir une utilisation risquée en mouvement dans les instants qui suivent**. En découle une concentration des risques liée à l'utilisation du smartphone au volant à la suite de ces arrêts pendant lesquels le-la conducteur a consulté son smartphone.

Cette concentration de risques liés à l'utilisation du smartphone au volant, et à la déconcentration qui en résulte, a pu être mise en évidence grâce à une augmentation sensible du nombre d'avertissements de sécurité détectés pendant ces séquences d'utilisation. Ces avertissements, détectés par un capteur optique embarqué, correspondent soit à une alerte de franchissement de ligne, soit à un risque de collision frontale contre l'obstacle précédant l'égo-véhicule. Si leur apparition n'est pas synonyme d'une faute d'inattention du conducteur·trice, l'augmentation significative de leur fréquence pendant les phases d'utilisations, ou entre deux phases, démontre le sur-risque inhérent à l'utilisation du smartphone en conduisant. Celui-ci a pu être quantifié, avec une probabilité d'apparition d'un avertissement de collision frontale et de franchissement de ligne **plus de 2 fois plus importante pour une utilisation à la main**.

En conclusion, les travaux USCOMA rapportés ici, ont pu démontrer l'existence de schémas d'utilisation répétés du smartphone, causant une dégradation sans équivoque de la qualité de conduite et apparaissant dans des types de situations bien identifiées. Ces résultats peuvent justifier certaines campagnes de sensibilisation du grand public incitant par exemple à ne pas consulter son téléphone à l'arrêt : « Le téléphone au volant, c'est dans la boîte à gants ! ». Ces travaux permettent également de justifier l'interdiction et la sanction de manipulation du téléphone au volant durant ces arrêts.

L'application de la méthode développée aux données UDRIVE Europe permettrait d'identifier, à moindre coût, d'éventuelles différences comportementales et également d'améliorer la significativité de nos résultats en multipliant par 4 le volume de données.

Par ailleurs, la robustesse des résultats obtenus par la détection automatique d'utilisation du smartphone démontrent la **faisabilité technique de l'intégration de telles méthodes dans des « Driving Monitoring System » (DMS)**. De tels capteurs permettraient une détection de l'utilisation du smartphone au volant embarquée, en temps réel, et l'éventuel déclenchement d'une alerte sonore dans le cockpit, à la manière d'une ceinture non-bouclée.

La base UDRIVE, de par sa richesse, sa relative représentativité, et la facilité d'utilisation rendue possible par les outils développés par le CEESAR, a démontré son potentiel dans l'identification et la qualification de comportements risqués des conducteurs pendant la durée de la collecte. Permettant l'observation des **usages réels dans la durée**, elle est complémentaire des autres méthodes (observations bord de route, questionnaires...), car elle permet d'identifier des patterns comportementaux dont les conducteur·trice·s sont probablement inconscient·e·s, telle cette spectaculaire propension à réutiliser son smartphone en mouvement après l'avoir utilisé une fois à l'arrêt...

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Taux d'équipement en téléphone mobile, smartphone et ordinateur	7
Figure 2 : Caractéristiques principales de la base de données UDRIVE	12
Figure 3 : Système d'acquisition de données UDRIVE.....	13
Figure 4 : Distribution de la longueur des trajets.....	14
Figure 5 : Géolocalisation des points de départ/arrivée des trajets	14
Figure 6 : Captures d'écran caméras « visage » et « cockpit ».....	16
Figure 7 : Outil d'annotation d'images	18
Figure 8 : Schéma architecture de classifieur Mono-Tâche	19
Figure 9 : Exemple de CAM permettant la détection d'une utilisation « À la main ».....	20
Figure 10 : Schéma de l'infrastructure de l'architecture logicielle mise en œuvre	22
Figure 11 : Exemple de consolidation temporelle.....	24
Figure 12 : Nombre de segments « À la main » en fonction du Score Total et Moyen	26
Figure 13 : Exemples de fausses détections dues à la manipulation d'un objet et à l'ombre du volant	27
Figure 14 : Capture d'écran de l'outil SALSA.....	28
Figure 15 : Schéma orientation véhicule.....	31
Figure 16 : Schéma Suivre de cible	33
Figure 17 : Nombres d'heures enregistrées en fonction des phases de mouvement et d'arrêts.....	35
Figure 18 : Nombre d'enregistrements selon la durée de la phase d'arrêt au commencement.....	36
Figure 19 : Proportion d'utilisations en circulation en fonction de la durée	38
Figure 20 : Nombre d'heures d'enregistrement par conducteur·trice.....	40
Figure 21 : Ratio (%) entre la fréquence d'utilisation du smartphone par conducteur·trice et la fréquence maximale observée.....	41
Figure 22: Courbe de Lorenz sur la répartition du nombre d'utilisations entre les conducteurs.....	42
Figure 23: Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction de Fréquence d'utilisation « À la main », par conducteur	43
Figure 24 : Nombre d'heures analysées en fonction du type de route.....	46

Figure 25: Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction du type de route.....	47
Figure 26: Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction du type de route	48
Figure 27 : Nombre d'heures d'enregistrement en fonction de la Vitesse Maximale Autorisée	49
Figure 28 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la Vitesse limite.....	50
Figure 29 : Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction de la VMA.....	51
Figure 30 : Nombre d'heures analysées en fonction de la sinuosté (nombre de virages sur tronçon d'1 km).....	52
Figure 31 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la sinuosité	53
Figure 32 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la sinuosité / type de route	54
Figure 33 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la sinuosité	55
Figure 34 : Nombre d'heures en fonction de la Vitesse égo-véhicule (Vitesse > 0km/h).....	56
Figure 35 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la vitesse égo-véhicule	57
Figure 36 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la vitesse égo-véhicule et du type de route.....	58
Figure 37 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la Vitesse égo-véhicule	59
Figure 38 : Nombre d'heures analysées en fonction du trafic	60
Figure 39 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la congestion.....	61
Figure 40 : Nombre d'heures d'enregistrement sur autoroute, à vitesse non nulle, en fonction de la vitesse et du TIV.	62
Figure 41 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la vitesse égo-véhicule et du Temps Inter-Véhicule sur autoroute (excluant l'arrêt).....	63
Figure 42: Proportion d'utilisations à la main en fonction du TIV à très faible vitesse et à vitesse modérée.	64
Figure 43 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la congestion	65
Figure 44 : Nombres d'heures enregistrées en fonction des phases d'arrêts (rappel).....	66
Figure 45 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction du type d'arrêt de l'égo-véhicule	67
Figure 46 : Fréquence d'utilisation « À l'oreille » en fonction du type d'arrêt de l'égo-véhicule	68
Figure 47 : Nombre d'heures analysées en fonction de la familiarité du trajet	70

Figure 48 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À la main » en fonction de la familiarité du trajet	71
Figure 49 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la familiarité du trajet et du type de route	72
Figure 50 : Fréquence d'utilisation « À la main » en fonction de la familiarité du trajet et du type de route, en excluant la conductrice contribuant à 70% des utilisations	72
Figure 51 : Fréquence d'utilisation du téléphone « À l'oreille » en fonction de la familiarité du trajet	73
Figure 52 : Proportion du nombre d'Utilisation en fonction du Δ Temps à la précédente utilisation (base totale)	77
Figure 53 : Exemple de Séquences d'utilisations	78
Figure 54 : Répartition du nombre de séquences en fonction de leur classification.....	79
Figure 55 : Proportion des séquences avec au moins une utilisation en mouvement, pour les différentes conditions, d'initialisation	80
Figure 56 : odd-ratio de l'utilisation en mouvement du téléphone si, une utilisation précédente est intervenue, ou non, en fonction du type de route	83
Figure 57 : Nombres d'heures d'enregistrement en mouvement en fonction du type d'utilisation....	86
Figure 58 : Fréquence d'apparitions d'avertissements de collision frontale en fonction du type d'utilisation.....	87
Figure 59 : Rapport de Fréquences d'apparition d'avertissements de collision frontale en fonction du type d'utilisation.....	88
Figure 60 : Proportion du temps ou la détection de marquage est valide en fonction de la vitesse égo-véhicule	89
Figure 61 : Proportion cumulée d'avertissements de franchissement de ligne reçus en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule	90
Figure 62 : Nombres d'heures d'enregistrements avec détection de marquages fonctionnelle en fonction du type d'utilisation du smartphone	91
Figure 63 : Fréquence d'apparition d'avertissements de contrôle latéral en fonction du type d'utilisation.....	92
Figure 64 : Fréquence d'apparition d'avertissements de contrôle latéral en fonction du type d'utilisation.....	93

TABLE DES TABLEAUX

Table 1 : Pourcentage du temps de conduite trouvé dans UDRIVE sur les trajets sélectionnés (issus du rapport UDRIVE + Christoph et al. 2019 pour la dernière ligne).....	9
Table 2 : Caractéristiques de la base de données UDRIVE 'France'	13
Table 3 : Quantité d'Images annotées	18
Table 4 : Résultats de détection de l'utilisation du téléphone sur le jeu de Test	21
Table 5 : Filtrage des détections d'utilisation « À l'oreille ».....	28
Table 6 : Indicateurs utilisés pour la description du contexte routier	29
Table 7 : Nombre d'Utilisations détectées sur les bases « complète » et en « circulation ».....	38
Table 8 : Comparaison du nombre d'Utilisations détectées avec l'étude (Carsten, 2017).....	39
Table 9 : Comparaison de la distribution des utilisations « à la main » selon les conducteurs.....	44
Table 10 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction du Type de route	47
Table 11 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction du Type de route.....	48
Table 12 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de Vitesse Maximale Autorisée.....	50
Table 13 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la Vitesse Maximale Autorisée.....	51
Table 14 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la présence de virage / sinuosité.....	52
Table 15 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la présence de virage et de la sinuosité	54
Table 16 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule	57
Table 17 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la vitesse de l'égo-véhicule	59
Table 18 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la congestion du trafic.....	60
Table 19 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la congestion du trafic	65
Table 20 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction du type d'arrêt identifié.	67
Table 21 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction du type d'arrêt identifié.....	68
Table 22 : Détection d'utilisations « À la main » en fonction de la connaissance du trajet.	70
Table 23 : Détection d'utilisations « À l'oreille » en fonction de la connaissance du trajet.	73
Table 24 : Proportion d'utilisations du téléphone pendant, et après un arrêt.....	81

Table 25 : Probabilité d'utilisation du smartphone en mouvement, en fonction du type de route et d'une utilisation antérieure.....	82
Table 26 : Fréquence des avertissements frontaux en fonction de l'utilisation du smartphone	86
Table 27 : Probabilité d'avertissements frontaux, en fonction de l'utilisation du smartphone	87
Table 28 : Fréquence des avertissements latéraux en fonction de l'utilisation du smartphone.....	91
Table 29 : Probabilité d'avertissements latéraux, en fonction de l'utilisation du smartphone.....	92

BIBLIOGRAPHIE

- Brusque, C. B.-P.-L. (2011). *Téléphone et sécurité routière*. IFSTTAR-INSERM.
- Bruyas, M.-P. (2019). *La sécurité routière en France : quand la recherche fait son bilan et trace des perspectives*. L'Harmattan.
- Bruyas, M.-P., & Evennou, M. (2017). *Baromètre 2017 sur les usages du smartphone au volant*. fondation MAIF.
- Caird, J. K. (2014). A meta-analysis of the effects of texting on driving. *Accident Analysis & Prevention*, 311-318.
- Carsten, O. H. (2017). Driver Distraction and Inattention. UDRIVE Deliverable 43.1. EU FP7 Project UDRIVE Consortium.
- Christoph, M. W. (2019). Self-regulation of drivers' mobile phone use: The influence of driving context. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 66*, 262-272.
- Dingus, T. A. (2019). The prevalence of and crash risk associated with primarily cognitive secondary tasks. *Safety Science*.
- Fitch, G. A. (2013). *The impact of hand-held and hands-free cell phone use on driving performance and safety-critical event risk. (Report No. DOT HS 811 757)*. National Highway Traffic Safety Administration.
- Metz, B. L. (2014). Frequency of secondary tasks in driving – Results from naturalistic driving data. *Safety Science, Volume 68*, 195-203.
- MGEN/INSV. (2020). *Enquête sur le sommeil des Français en 2020*.
- mobileye. (s.d.). *mobileye*. Récupéré sur mobileye: <https://www.mobileye.com/solutions/>
- NHTSA. (2006). *DOT HS 811 757*.
- ONISR. (2019). *Observatoire des comportements (France métropolitaine)*.
- Owens, J. D. (2018). *Crash Risk of Cell Phone Use While Driving: A Case-Crossover Analysis of Naturalistic Driving Data*. Washington, DC: AAA Foundation for Traffic Safety.
- State Of Mobile - data.ai. (2023). *State Of Mobile*. Récupéré sur data.ai: <https://www.data.ai/en/go/state-of-mobile-2023/>
- Tivesten, E. D. (2015). Driving context influences drivers' decision to engage in visual–manual phone tasks: Evidence from a naturalistic driving study. *Journal of Safety Research*, 87-96.
- Young, K. R. (2007). Driver distraction: A review of the literature. . *Distracted Driving*, 379-405.