



HAL
open science

Mesure de la trajectoire en situation réelle de conduite et comparaison avec les comportements en simulateur de conduite - Projet Profil de la ROute comme Facteur d'Influence de la Lisibilité de l'infrastructure et son effet sur la trajectoire (PROFIL)

Lara Désiré, Yohan Dupuis, Renaldo Gritti, Matthieu Adam

► To cite this version:

Lara Désiré, Yohan Dupuis, Renaldo Gritti, Matthieu Adam. Mesure de la trajectoire en situation réelle de conduite et comparaison avec les comportements en simulateur de conduite - Projet Profil de la ROute comme Facteur d'Influence de la Lisibilité de l'infrastructure et son effet sur la trajectoire (PROFIL). [Rapport de recherche] Cerema - Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. 2017, pp.105. hal-01868995

HAL Id: hal-01868995

<https://hal.science/hal-01868995>

Submitted on 23 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Fondation Sécurité Routière

Mesure de la trajectoire en situation réelle de conduite et comparaison avec les comportements en simulateur de conduite (Tâche 2)

Projet Profil de la ROute comme Facteur d'Influence de la Lisibilité de l'infrastructure et son effet sur la trajectoire (PROFIL)

Le 14 novembre 2017

Rédacteurs du livrable : Lara Désiré, Yohan Dupuis, Renaldo Gritti, Matthieu Adam

Personnes impliquées dans la tâche 2 (par ordre alphabétique) : Isabelle Aillerie, Matthieu Adam, Lara Désiré, Renaldo Gritti, Florence Rosey, Fabrice Vienne

Relecteur : Peggy Subirats (Tâche 2.1)

Financier du projet : Fondation Sécurité Routière

Coordinateur du projet : L'Institut national des sciences appliquées (INSA) de Rouen

Partenaires du projet : Cerema (DTERouest et DTERNC), Ifsttar (COSYS-LEPSiS)



IFSTTAR



TABLE DES MATIERES

I.	Introduction	5
1.	Déroulement de la tâche 2	5
1.1.	Déroulement de la tâche 2.1.....	5
1.2.	Déroulement de la tâche 2.2.....	6
2.	Bilan sur l'avancement global du projet pour la tâche 2.....	8
3.	Structure du document	8
II.	Instrumentation et dynamique du véhicule (Tâche 2.1).....	9
1.	Introduction	9
2.	Instrumentation (Tâche 2.1.a)	9
3.	Traitement du signal et développement (Tâches 2.1.b et 2.1.c)	13
3.1.	Etude de l'effet de la vitesse pratiquée et du tracé en plan sur les mesures	13
3.2.	Etudes pour le développement de la méthode d'extraction de la route	15
3.3.	Traitement des données issues de la tâche 2.2	19
4.	Références bibliographiques	24
III.	Trajectoire des usagers en Côtes d'Armor : comparaison des trajectoires en situation réelle et en situation simulée (Tâche 2.2)	25
1.	Effet du profil en travers sur la trajectoire en situation réelle de conduite (Tâche 2.2.a).....	25
1.1.	Introduction	25
1.2.	Matériels et méthodes.....	31
1.3.	Acquisition des données comportementales et des données routières	39
1.4.	Constitution de la base de données et extraction des données	47
1.5.	Mesures	51
1.6.	Analyses envisagées.....	51
2.	Comparaison des trajectoires en situation de conduite réelle <i>versus</i> virtuelle (Tâche 2.2.b)...	53
2.1.	Introduction	53
2.2.	Méthodologie pour la réplique d'un environnement réel dans un simulateur de conduite.....	57
2.3.	Méthodologie.....	63
3.	Discussion et conclusion.....	68
4.	Contributions dans la tâche 2.2	70
4.1.	Département Laboratoire de Saint-Brieuc, DTer Ouest, Cerema.....	70
4.2.	Département Infrastructures de transport Multimodales, DTerNC, Cerema	70
4.3.	LEPSIS, IFSTTAR.....	71
5.	Remerciements	72

6.	Références bibliographiques	73
7.	Annexes	80
7.1.	Tâche 2.2.a : Formulaire de consentement	80
7.2.	Tâche 2.2.a : Questionnaire portant sur les informations démographiques générales	82
7.3.	Tâche 2.2.a : Carte utilisée pour la présentation du circuit au participant.....	101
7.4.	Tâche 2.2.a : Document fourni pour le recueil de la familiarité du circuit	102
7.5.	Tâche 2.2.a : Formulaire de recueil de l'autorisation d'utilisation d'images	103
7.6.	Tâche 2.2.a : Interface du logiciel IREVE	104
7.7.	Tâche 2.2.a : Interface du logiciel MOGEO	105

I. Introduction

Le projet PROFIL visait à produire des éléments de recommandation à destination des gestionnaires afin de modifier le comportement (vitesse et positionnement sur la voie de circulation) des conducteurs par leur perception du profil en travers. Pour ce faire, il proposait d'identifier, mesurer et quantifier l'influence du profil en travers sur les trajectoires (position latérale et vitesse) des usagers de la route et sur les inter-distances latérales dans différentes situations de conduite (véhicule isolé, véhicule croiseur, véhicule dépassé et dépassant, trafic modéré à chargé) en condition réelle et en condition virtuelle.

Dans ce projet, l'objectif de la tâche 2 était de produire des connaissances sur les trajectoires des conducteurs en situation réelle de conduite en fonction des caractéristiques des profils en travers des routes et de la présence de trafic (véhicules croiseurs) et de les comparer aux trajectoires observées dans un simulateur de conduite afin d'alimenter les connaissances sur le niveau de transfert des résultats obtenus avec le simulateur de conduite dans la tâche 3 du projet PROFIL aux situations réelles.

Afin de réaliser ce travail, la tâche 2.1 visait à mettre au point un outil, basé sur l'utilisation de la télémétrie laser à balayage (LiDAR¹) afin de mesurer la position latérale et l'inter-distance latérale adoptées par les conducteurs d'un véhicule instrumenté. Cet outil devait être utilisé dans les expériences envisagées dans la tâche 2.2 afin d'analyser les trajectoires adoptées par des conducteurs d'un véhicule instrumenté sur des routes bidirectionnelles (Tâche 2.2.a) et de les comparer aux trajectoires adoptées dans les simulateurs de conduite du Cerema et de l'IFSTTAR sur une maquette 3D reproduisant un section de route réelle (Tâche 2.2.b).

1. Déroulement de la tâche 2

La tâche 2 était sous la responsabilité de Lara Désiré (Cerema, Direction territoriale Ouest - DTe-rOuest, Département Laboratoire de Saint-Brieuc - DLRB, groupe Exploitation et Sécurité Routières - ESR).

1.1. Déroulement de la tâche 2.1

La tâche 2.1 était sous la responsabilité de Yohan Dupuis (Cerema, Direction territoriale Normandie-Centre - DTerNC, Département Infrastructures de Transport Multimodales - DITM, groupe Exploitation de la route, Simulation dynamique, Métrologie - ESM) avec la participation de la DTerOuest. La DTerNC avait en charge l'intégration de l'outil dans son véhicule instrumenté VACC² (Tâche 2.1.a) ainsi que le développement de l'outil et de la méthode de mesure de la position latérale et des inter-distances latérales et frontales (Tâches 2.1.b et c). La DTerOuest avait en charge l'intégration de l'outil dans son véhicule instrumenté VOICIE³ en concertation avec la DTerNC (Tâche 2.1.a).

La tâche d'instrumentation des véhicules (Tâche 2.1.a) avait pour objectif de mettre en place les véhicules instrumentés nécessaires aux observations des positions latérales d'un panel de conducteur circulant sur routes départementales. La première partie a consisté à mettre en place un Marché A Procédure Adaptée (MAPA) afin de réaliser l'acquisition des LiDAR. Le Cerema a donc réalisé l'acquisition de quatre capteurs permettant d'instrumenter deux véhicules suite à la notification du marché. L'intégration des LiDAR sur les véhicules a ensuite été réalisée par des prestataires exté-

¹ LiDAR : Light Detection And Ranging.

² VACC : Véhicule d'Analyse du Comportement du Conducteur.

³ VOICIE : Véhicule d'Observation de l'Interaction du Conducteur avec l'Infrastructure et l'Environnement de la route.

rieurs au personnel impliqué dans le projet. Plusieurs formes d'intégrations ont parfois été nécessaires afin d'assurer la conformité du véhicule avec la réglementation en vigueur. La dernière étape correspond à la mise en place du logiciel en charge de collecter l'intégralité des données issues des capteurs présents dans le véhicule de manière synchronisée et finement horodatée. Cette tâche avait une durée annoncée de 3 mois lors du dépôt du projet. La durée réalisée de la tâche a été de 23 mois. L'écart entre la durée planifiée et réalisée s'explique par les facteurs suivants :

- la nécessité de passer par un MAPA pour l'acquisition des LiDAR à l'échelle du Cerema. En effet, le changement de statut, passage de plusieurs services déconcentrés à un établissement public, a modifié les règles en matière d'achat de matériel puisqu'il ne s'agit plus de plusieurs services déconcentrés faisant l'acquisition disjointe de matériel mais d'un seul et unique établissement ;
- la planification et le temps d'intégration par les prestataires extérieurs au projet des LiDAR dans les véhicules plus longs que prévu ;
- le temps de mise en place du logiciel d'acquisition des données embarquées dont la durée de développement avait été mal appréciée lors de la phase de montage du projet.

Déroulement de la mise au point et optimisation des méthodes de mesure de distances inter-véhiculaires et de positions latérales (Tâches 2.1.b et 2.1.c)

Les tâches de mise au point et optimisation des méthodes de mesure de distances inter-véhiculaires et de positions latérales (Tâches 2.1.b et 2.1.c) avaient pour objectif de créer les algorithmes et les méthodes de mesure d'inter-distances et de positions latérales à partir des données capteurs issues des véhicules instrumentés. Cette tâche, étant aval à la tâche 2.1.a, devait commencer à T0+23mois si on s'en tient strictement à la structuration du projet et la hiérarchisation des tâches. Toutefois, une première étude amont a été conduite durant les 6 premiers mois du projet afin d'étudier l'impact du déplacement des véhicules sur les mesures LiDAR. Une première expérimentation a été conduite dans le voisinage de la DTerNC afin de mettre au point une première méthode d'estimation de position latérale dans un contexte urbain et à basse vitesse du fait des restrictions de circulation subies par le véhicule de la DTerNC dans l'attente des passations des sujets de la DTerOuest. La première méthode a montré ses limites lors d'une seconde expérimentation conduite par la DTerNC sur route bidirectionnelle. Une seconde méthode a été proposée afin de pallier l'absence de robustesse rencontrée par la première méthode proposée. Un stagiaire a été recruté dès confirmation par la DTerOuest de l'organisation de la passation des 20 sujets. Sa mission était de déployer la méthode existante d'estimation de position latérale. Le sujet du stage incluait également le calcul des distances inter-véhiculaires à l'échelle du jeu de données de la DTerOuest. Cette tâche a connu ensuite une baisse importante de capacité de production suite à un changement de poste du responsable de la tâche 2.1. A l'issue du stage, aucune donnée n'a été extraite par le stagiaire. Ce résultat s'explique par la difficulté de trouver un candidat disposant réellement des compétences nécessaires pour lever les verrous technologiques et algorithmiques. La DTerNC a toutefois réussi à résoudre la problématique d'extraction des distances inter-véhiculaires en fin de projet sans toutefois être en mesure de déployer la méthode d'extraction de position latérale sur la base de données de 20 sujets. La tâche 2.1.b a donc été conclue à T0+38mois. La tâche 2.1.c débutera en 2018, soit au-delà de la fin de projet contractualisé.

1.2. Déroulement de la tâche 2.2

La tâche 2.2 était sous la responsabilité de Lara Désiré avec la participation de la DTerNC et du Laboratoire Exploitation, Perception, Simulateurs et Simulations (LEPSiS, IFSTTAR).

Les expériences envisagées dans la tâche 2.2 portaient d'une part sur l'effet du profil en travers en situation réelle de conduite (Tâche 2.2.a) et, d'autre part, sur la comparaison des trajectoires en situation de conduite réelle *versus* virtuelle (Tâche 2.2.b). Ces expériences reposaient sur le dévelop-

pement de l'outil de mesure de la position latérale et des inter-distances développé dans la tâche 2.1 par la DTerNC.

Déroulement des expériences sur l'effet du profil en travers en situation réelle de conduite (Tâche 2.2.a)

La DTerOuest avait en charge la réalisation de l'expérience menée avec son véhicule instrumenté VOICIE visant à analyser l'impact du profil en travers sur la trajectoire des conducteurs en situation réelle de conduite. La DTerNC avait en charge le traitement des données LiDAR recueillies lors l'expérience menée par la DTerOuest afin d'extraire la position latérale et les inter-distances.

Pendant la première année du projet, en parallèle du travail d'intégration des deux lidars dédiés à la mesure de la position latérale et des inter-distances, la solution matérielle et logicielle d'acquisition des données du véhicule instrumenté VOICIE a été adaptée par la DTerOuest. De plus, durant cette même année, le repérage et la définition du circuit sur le réseau routier départemental des Côtes d'Armor ont été réalisés par la DTerOuest avec l'appui de la DTerNC pour le choix final. Durant la deuxième année du projet, la méthodologie d'acquisition et de visualisation synchronisée des données issues des différents capteurs du VOICIE a été mise en place par la DTerOuest. Ce travail a porté sur l'intégration du diagramme d'acquisition des données LiDAR mis au point par la DTerNC et la mise au point, avec le fournisseur du logiciel d'acquisition synchrone des données, d'un diagramme d'acquisition pour les données CAN, GPS, inertielle, vidéo, audio et issues de la saisie en temps réel par les expérimentateurs dans un format compatible avec les outils logiciels utilisés par la DTerOuest pour constituer la base de données comportementales et routières. En parallèle à ce travail méthodologique visant à recueillir les données comportementales, l'acquisition des données routières du circuit a été réalisée. Ce travail a consisté, à partir d'un relevé d'images routières et d'un relevé de la géométrie de la route, à identifier les zones potentielles d'analyse du comportement et à les décrire en termes de profil en travers et de tracé en plan (alignement *versus* virage). La réalisation de l'expérience proprement dite, c'est-à-dire l'acquisition des données comportementales auprès de vingt participants, a eu lieu au cours de la troisième année. Dès la fin de l'acquisition, la constitution de la base de données comportementales et routières a été débutée. Actuellement, il manque les données de position latérale et d'inter-distance latérale pour finaliser la base de données. De ce fait, à la remise de ce rapport final de la tâche 2, l'analyse de l'effet du profil en travers sur la trajectoire en situation réelle de conduite n'a pas encore été menée.

Déroulement de l'expérience de comparaison des trajectoires en situation de conduite réelle *versus* virtuelle (Tâche 2.2.b)

La DTerOuest avait en charge, avec l'IFSTTAR, la réalisation de l'expérience de comparaison des trajectoires en situation réelle et en réalité virtuelle. L'objectif était de comparer les trajectoires adoptées avec le véhicule instrumenté VOICIE avec celles adoptées dans le simulateur de conduite du Cerema et celles adoptées par un autre pool de conducteur dans le simulateur de conduite de l'IFSTTAR utilisé pour la réalisation des expériences de la tâche 3. La DTerOuest avait en charge la réalisation de l'expérience avec le véhicule instrumenté VOICIE et le simulateur de conduite du Cerema et l'IFSTTAR avait en charge la réalisation l'expérience avec le simulateur de conduite de l'IFSTTAR. La DTerNC avait en charge le traitement des données LiDAR recueillies lors de l'expérience menée par la DTerOuest afin d'estimer la position latérale et l'inter-distance latérale en situation réelle de conduite.

Dès le début du projet, une évaluation de la qualité de la maquette 3D reproduisant une section du réseau routier départemental des Côtes d'Armor a été réalisée par la DTerOuest. Cette évaluation a mis en évidence que la géométrie de la route simulée n'était pas conforme à la géométrie de la route existante. Malgré tout, il a été décidé de maintenir cette expérience et de développer, avec l'IFSTTAR, la méthodologie permettant de réaliser une maquette 3D temps réel géo-référencée. L'identification de la méthode a pris beaucoup plus de temps qu'anticipé, probablement car elle re-

pose sur l'utilisation de données géographiques dont aucune des deux équipes n'avaient auparavant l'expérience. De plus, ce travail a été mis en place dans un contexte de changement de logiciel de création d'environnements synthétiques 3D temps réel. Or ces logiciels sont des outils extrêmement lourds à prendre en main. De ce fait, la maquette 3D est encore en cours de construction à l'issue du projet PROFIL et l'expérience proprement dite n'a pas débutée à la remise de ce rapport.

2. Bilan sur l'avancement global du projet pour la tâche 2

A l'issue de l'exposé du déroulement de la tâche 2 de ce projet, il apparaît que l'objectif initial de cette tâche n'est que partiellement atteint. Concernant la tâche 2.1, le travail d'instrumentation a été réalisé mais la méthode de traitement des données pour mesurer la position latérale et les inter-distances véhiculaires n'est pas finalisée. Concernant la tâche 2.2, l'expérience visant à recueillir le comportement des conducteurs en situation réelle sur différents profil en travers a été réalisée mais, en l'absence des mesures de position latérale et d'inter-distance, le travail d'analyse des trajectoires en situation réelle de conduite n'a pas débuté. Enfin, concernant l'expérience visant à comparer les trajectoires en situation réelle avec les comportements en simulateur de conduite, elle n'a pas encore été réalisée du fait du travail non prévu au démarrage du projet lié à la nécessité de concevoir une nouvelle maquette 3D temps réel géo-référencée. De plus, elle ne sera pas initiée tant que la méthode de mesure, *a minima*, de la position latérale ne sera pas finalisée

3. Structure du document

Dans la suite du rapport, l'ensemble du travail réalisé dans le cadre de la tâche 2 est présenté.

La section II présente le travail réalisé dans la tâche 2.1 par la DTerNC (Cerema) pour développer un outil de mesure en continu, dans un véhicule instrumenté, de la position latérale et des inter-distances latérales et frontales grâce à l'utilisation de la télémétrie laser à balayage (LiDAR). Cette section vaut pour le livrable nommé "T2.1.c Optimisation des méthodes de traitements du signal télémétrique" dans l'annexe technique du projet PROFIL.

La section III présente le travail réalisé dans la tâche 2.2 par la DTerOuest concernant, d'une part l'expérience visant à décrire les trajectoires adoptées par les conducteurs de routes bidirectionnelles (Tâche 2.2.a) et, d'autre part, l'expérience visant à étudier la validité des mesures des trajectoires observées en simulateur de conduite par rapport à celles observées en situation réelle (Tâche 2.2.b). Cette section vaut pour le livrable nommé "T2.2. rapport d'expérimentation sur les trajectoires des usagers en Côtes d'Armor : comparaison des trajectoires en situation réelle et en situation simulée" dans l'annexe technique du projet PROFIL. Concernant l'expérience en situation réelle de conduite (Tâche 2.2.a), puisque l'analyse des données n'est pas réalisée à la date finale du projet PROFIL, la présentation du travail porte sur le contexte scientifique dans lequel s'inscrit ce travail et sur le protocole expérimental suivi. Concernant l'expérience sur la validité des mesures de trajectoire dans un simulateur de conduite (Tâche 2.2.b), la présentation du travail porte sur le contexte scientifique de cette expérience, le travail méthodologique non prévu au démarrage du projet et visant à réaliser une maquette 3D géo-référencée ainsi que sur le protocole expérimental envisagé.

II. Instrumentation et dynamique du véhicule (Tâche 2.1)

1. Introduction

La tâche 2.1 avait pour objectif d'obtenir des informations de positions latérales et de distance inter-véhiculaires dans des conditions de circulation réelles sur routes bidirectionnelles. La première partie a donc été focalisée sur la mise en place d'un dispositif de recueil en temps réel embarqué permettant de collecter des données des positions, dynamique véhicule et de mesure d'informations 3D. La seconde étape relevait de la fusion de ces données pour en dériver les observables du comportement précédemment explicités. Les méthodes mises au point devaient être déployées sur le corpus collecté dans la tâche 2.2.

2. Instrumentation (Tâche 2.1.a)

La DTerNC avait pour mission de définir le cahier des charges fonctionnel permettant de mesurer les observables suivants :

- la mesure des distances inter-véhiculaires des véhicules environnants les véhicules instrumentés.
- la position latérale des véhicules instrumentés.

Les expérimentations avaient pour vocation à être réalisées principalement sur routes bidirectionnelles où la vitesse limite autorisée (VLA) est inférieure à 90km/h.

La technologie LiDAR a été retenue parmi les solutions existantes sur le marché. En effet, par rapport aux alternatives techniques existantes, elle offre les avantages suivants :

- une sensibilité moindre aux conditions météorologiques et de luminosités dégradées ;
- un champ de vue pouvant couvrir l'intégralité de l'espace avant du véhicule (180°) ;
- une distance de mesure indiquée comme supérieure à 75 m soit légèrement supérieure à un temps inter-véhiculaire de 3 s ;
- des fréquences d'acquisitions suffisamment élevées (> 10 Hz) ;
- la technologie privilégiée par les sociétés développant des véhicules autonomes pour les détections des autres véhicules ainsi que la localisation des véhicules autonomes sur l'infrastructure.

En contrepartie, ces solutions ne retournent pas directement les observables de distances inter-véhiculaires mais un nuage de points 3D duquel doit être extrait les observables par traitement du signal.

Seule la société IBEO proposait en 2014 un LiDAR avec mesure automatique des distances inter-véhiculaires mais avec un champ de vue limitée. Dès lors, une solution consistant à fusionner plusieurs LiDAR IBEO était proposée par le constructeur mais avoisinée à elle seule 40 k€ HT. Le coup prohibitif nous a amené à ne pas choisir cette solution. De plus, il n'existait pas de solution clef en main afin de répondre à la problématique de la position latérale.

Deux familles de LiDAR existent : les LiDAR mono-nappes et les LiDAR multi-nappes. Elles observent respectivement un plan unique ou un multiple de plans de manière simultanée. A titre d'information, le LiDAR HDL64 de la société Velodyne également commercialisé en 2014 et produit phare des sociétés développant des véhicules autonomes coûte à lui seul 64 k€ HT.

Étant donné les coûts importants de ces dispositifs, un Marché A Procédure Adapté (MAPA) a été mis en place et géré par la DTerNC afin de réaliser l'acquisition du matériel pour la DTerNC et la DTe-rOuest. La partie technique du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) peut être résumée

aux contraintes fonctionnelles exposées précédemment. La DTerNC a instruit les propositions qui n'incluaient que des solutions à base de LiDAR mono-nappes distribués par la société Sick. Ces propositions s'expliquent par la place de leader du marché des LiDAR en Europe de la société Sick et des contraintes budgétaires exposées dans la partie financière du CCTP. Le Cerema a donc fait l'acquisition de quatre LiDAR mono-nappes Sick permettant d'instrumenter les véhicules de la DTerOuest et de la DTerNC pour un montant de 25 k€ HT en décembre 2014 (T0+7mois).

Sur chaque véhicule, un LiDAR est placé à l'avant pour observer la scène avant du véhicule sur une distance annoncée par le constructeur de 80 m et un second LiDAR à l'arrière orienté de manière à percevoir la chaussée perpendiculairement au déplacement du véhicule, c'est-à-dire mesurer le profil en travers. Les informations obtenues sont deux nuages de points 3D desquels il faut extraire respectivement les autres véhicules et dissocier la chaussée de l'accotement et du bas côté de la route.

Les méthodes de l'état de l'art nécessitent toutes de connaître le déplacement propre du véhicule portant les LiDAR afin de dissocier les éléments mobiles des éléments statiques dans la scène avant et d'aider à la segmentation de la route dans les données issues du LiDAR arrière. Il a été choisi d'utiliser des solutions grands-publics et déjà disponibles dans les véhicules de la DTerNC et de la DTerOuest : un dispositif GPS fournissant des informations de déplacement dans le plan (latitude, longitude, cap, vitesse), un dispositif inertiel fournissant la pose 3D du véhicule (roulis, lacet, tangage) ainsi que les données de dynamique du véhicule disponibles sur le bus CAN.

La première catégorie de capteur fournit des données extéroceptives, c'est-à-dire qu'elles utilisent des données de l'environnement (signaux satellites, champs magnétiques) pour estimer leurs états respectifs, alors que les données CAN correspondent à des données proprioceptives puisqu'elles correspondent à des mesures de la dynamique telles que mesurées sur le véhicule (vitesse des roues par exemple) qui ne correspondent pas nécessairement au déplacement réel réalisé. L'instrumentation utilisée est héritée du dispositif IFSTTAR DIRCO déjà présente dans les véhicules et mise à jour afin d'augmenter la fréquence d'acquisition des données GPS. Pour l'information du lecteur, les prototypes de véhicules autonomes existants en 2014 utilisaient des solutions GNSS garantissant une précision de positionnement centimétrique et erreur de pose inférieure à 0,25°. Ces dispositifs haut de gamme ont un coût unitaire avoisinant 40 k€ HT pièce. La solution utilisée dans le cadre du projet PROFIL pour cette partie est de l'ordre de 1,5 k€ HT pièce. Les performances et la précision des valeurs observées sont donc moindres.

Les dispositifs de mesure de dynamique étant déjà présents dans les véhicules, seule l'intégration des LiDAR a été supportée par le projet. La DTerOuest a missionné le Véhipole (Ploufragan, Côtes d'Armor) pour une partie de l'intégration. La DTerNC a missionné le Centre d'Etude et de Conception des Prototypes de Rouen (CECP, Cerema, DTerNC). Une première version du véhicule instrumenté de la DTerNC a été livrée en mai 2015 (T0+11mois) mais non conforme au code de la route puisque le LiDAR avant était saillant⁴ (Figure 1).

Il a été découvert que la problématique rencontrée sur le véhicule de la DTerNC était plus large au Cerema puisque de nombreux véhicules instrumentés ne respectaient pas la législation en vigueur. Ainsi, il a été demandé au CECP de temporiser sur de nouvelles modifications puisque celui-ci devait interroger les directions centrales du MEDDE afin d'obtenir une dérogation spécifique pour les véhicules du Cerema.

En l'absence de décision du Ministère, il a été décidé en novembre 2015, devant le retard pris par la tâche 2, d'effectuer la modification du véhicule tout en s'affranchissant de l'aspect amovible du capteur avant. Une nouvelle étude d'intégration du capteur avant a été réalisée par le CECP avec un outil

⁴<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000256909>

de numérisation 3D afin de s'assurer que l'emprise du capteur pouvait être totalement incluse dans le pare-chocs sans toutefois dégrader les performances thermiques du radiateur avant.

Une seconde version intégrant le LiDAR avant dans le pare-chocs a été livrée en février 2016 (T0+20mois ; Figure 2). Le véhicule de la DTerOuest a été livré en septembre 2015 (T0+14mois ; Figure 3).

Le dernier trimestre 2015 a été dédié à la mise en place du cahier des charges logiciel pour l'acquisition en temps réel des données LiDAR, GPS, inertielles, du bus CAN et des caméras de contrôle sous framework RTMaps afin d'obtenir une acquisition en temps réel avec un horodatage précis des données sur la base du véhicule de la DTerOuest.

Le premier trimestre 2016 a été consacré à la mise en place du diagramme RTMaps pour les véhicules des DTerNC et DTerOuest. La DTerNC a réalisé la recette du véhicule de la DTerOuest fin avril 2016 (T0+23mois). Cette recette a permis de valider :

- la présence des données indispensables à la réalisation de la mesure d'inter-distances et des positions latérales : LiDAR avant et arrière ; position, cap et vitesse GPS ; données inertielles (accélérations, vitesses de rotation, pose) ; données issues du bus CAN.
- de l'intégrité de ces données : enregistrement à la fréquence maximale de l'ensemble des capteurs et vérification de la présence avérée de l'ensemble de données malgré la bande passante élevée requise pour enregistrer l'ensemble de flux.

Cette tâche a donc pris fin à T0+23mois.



Figure 1 : Instrumentation de véhicule DTerNC non conforme – LiDAR arrière intégré dans le coffre de toit.

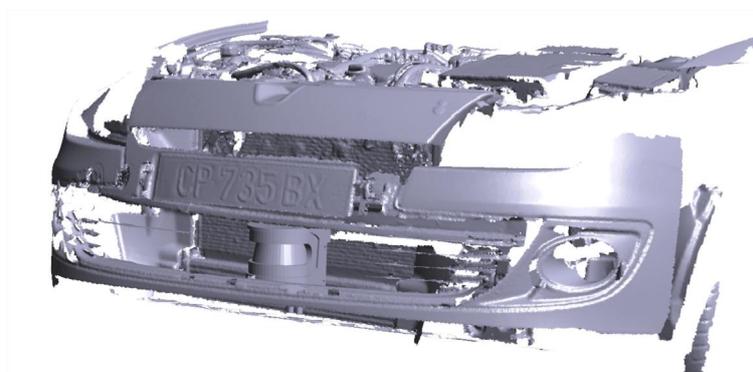


Figure 2 : Numérisation du LiDAR après intégration dans le pare-chocs avant (DTerNC)

a)



b)



Figure 3 : Instrumentation du VOICIE avec les lidars réalisée par le Véhipole et la DTerOuest (Cere-ma) : a) LiDAR avant ; b) LiDAR arrière placé sur un porte-vélo.

3. Traitement du signal et développement (Tâches 2.1.b et 2.1.c)

La DTerNC avait pour mission d'estimer les distances inter-véhiculaires entre le véhicule instrumenté et les autres véhicules l'environnant ainsi que la position latérale du véhicule instrumenté sur la chaussée à partir des données issues de la passation de vingt sujets organisée par la DTerOuest.

3.1. Etude de l'effet de la vitesse pratiquée et du tracé en plan sur les mesures

Afin d'évaluer l'impact du déplacement du véhicule sur les nuages de points LiDAR, une première étude a été conduite durant les premiers six mois de projet (T0+6mois). Des trajectoires ont été simulées afin d'observer l'impact de rayons de courbures (R) et de vitesses différentes. Cette étape est nécessaire car un LiDAR est un dispositif de mesure de numérisation incrémentale.

La mesure de distance par LiDAR utilise la notion du temps de vol d'une impulsion laser (Figure 4). Connaissant la vitesse de propagation de la lumière, il est possible d'obtenir la distance parcourue par l'écho de lumière à partir du décalage temporel entre l'impulsion source et l'écho mesuré. L'amplitude de l'écho va être influencée par la texture de l'objet à l'origine de l'écho, sa couleur et également l'angle d'incidence du faisceau LiDAR par rapport à l'orientation de la surface de l'objet.

En l'état, le LiDAR ne donnerait qu'une mesure propre à une direction. Afin d'augmenter le champ de vue du LiDAR, le laser effectue des révolutions autour d'un axe lui permettant d'observer d'autres directions comme présenté dans la figure 5.

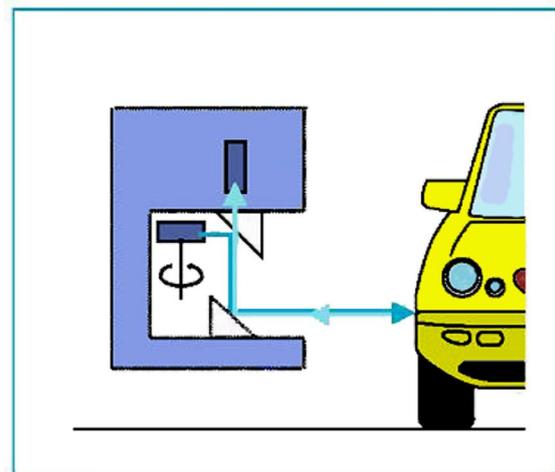
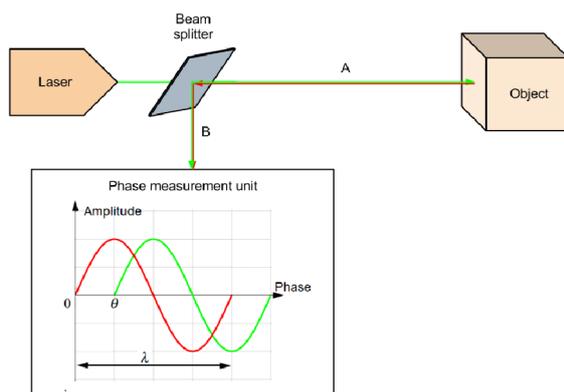


Figure 4 : Principe de la mesure de distance par temps de vol (Source : <http://home.roboticlab.eu>) **Figure 5 : Principe du balayage LiDAR (Source : <http://home.roboticlab.eu>)**

Le laser étant en rotation pendant que le véhicule se déplace, le point de vue, pour une mesure laser complète ($\sim 180^\circ$) n'est plus unique. Pour cette étude, nous avons étudié l'impact des vitesses pour deux situations singulières pour une route départementale: un alignement droit ($R=\infty$) et une courbe de rayon faible ($R=100m$).

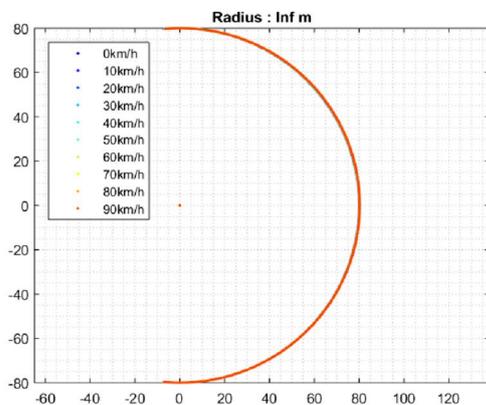
Comme nous pouvons le noter sur la figure 6a, l'impact d'un déplacement linéaire sur une mesure LiDAR semble négligeable à 80 m. Cependant, on constate en zoomant sur la zone directement située à l'avant du véhicule que le déplacement du véhicule introduit une mesure située 30 cm plus loin qu'en l'absence de mouvement (Figure 6b). Le point de vue n'étant pas unique, l'absence de prise en compte de ce déplacement introduit une position longitudinale surestimée de 30 cm.

Comme nous pouvons le noter sur la figure 7a, l'impact d'une courbe de rayon 100 m vers la gauche sur une mesure LiDAR semble négligeable à 80 m. Cependant, on constate en zoomant sur la zone directement à l'avant du véhicule que le déplacement du véhicule introduit un déplacement de la mesure dans les directions longitudinales et latérales (Figure 7b). Le point de mesure réel pour un véhicule situé à l'avant est situé 30 cm vers l'avant et 25 cm vers la gauche. Autrement dit, sans correction et prise en compte de la dynamique du véhicule, la position longitudinale est surestimée de 30 cm et la position est biaisée vers la droite dans la situation d'une courbe à gauche.

Les situations présentées ci-dessus sont extrêmes puisque nous sommes aux limites de mesure du LiDAR. Un objet plus proche verrait son erreur de mesure réduite d'autant. Le cas d'une infrastructure avec un rayon de courbure de 100m traversée à 90km/h est également rare.

Cette étude montre cependant qu'il est nécessaire de prendre en compte le mouvement du véhicule à l'intérieur même d'une mesure LiDAR avant de réduire l'erreur de mesure. Il faut garder à l'esprit que nous ne parlons pas ici d'incertitude de mesure de distance elle-même annoncée à 5 cm à 80 m par le fabricant.

a)



b)

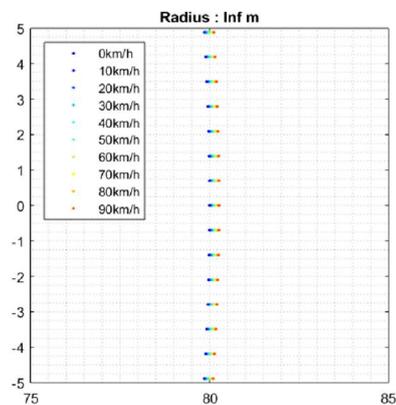
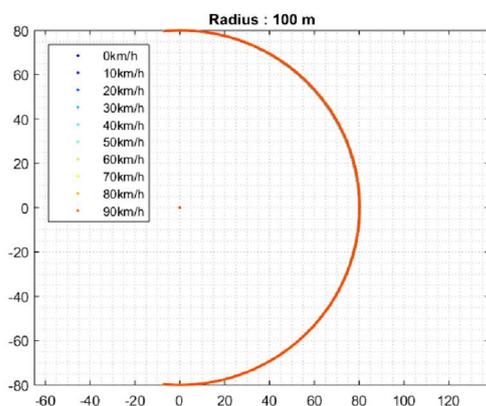


Figure 6 : Impact du déplacement sur la mesure de distance dans le cas d'un alignement droit. a) vue globale ; b) zoom.

a)



b)

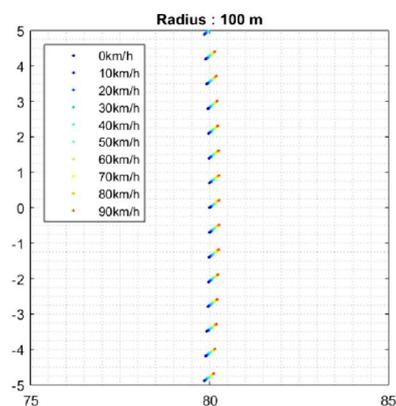


Figure 7 : Impact du déplacement sur la mesure de distance dans le cas d'un rayon de courbure de 100m. a) vue globale ; b) zoom.

3.2. Etudes pour le développement de la méthode d'extraction de la route

L'instrumentation des véhicules ayant pris beaucoup de retard, un premier jeu de données a été collecté par la DTerNC à partir du véhicule de la DTerNC tel que disponible dans sa version de mai 2015 dans un périmètre restreint (Figure 8) en juin 2015 (T0+12mois). En effet, un doute important existait sur le respect réglementaire de l'instrumentation.

Ainsi, une expérimentation a été conduite à proximité du site de la DTerNC sur une infrastructure faiblement circulée dont la VLA était inférieure ou égale à 50 km/h afin de commencer à développer la méthode d'extraction de route du nuage de points.

Etude avec le véhicule de la DTerNC dans un contexte urbain

Notre première approche s'est basée sur l'aspect géométrique du profil en travers. En effet, le profil en travers peut être constitué d'une ligne, pour les profils mono-déversés, ou deux lignes, pour les profils en toit. Cette approche classique dans la littérature repose sur le fait qu'il existe un décrochage géométrique à la limite de la route et l'accotement.

Les Figure 9 et Figure 10 présentent les résultats d'estimation de la géométrie du profil en travers dans le nuage de points LiDAR pour les deux situations.

On constate que, dans les deux situations, les dévers sont bien estimés. Les coefficients directeurs sont respectivement égaux à 0,0001 et 0,049 soit les différences de dévers attendues dans le cas de profils respectivement mono-déversés et en toit. L'application d'un critère de largeur sur la voie permet ensuite de trouver les points appartenant à la route. Il faut noter qu'une rupture nette existe entre la route et l'accotement dans les données LiDAR de part la présence d'un trottoir ou de végétation. Les premiers tests sur ce jeu de données ont confirmé l'extraction possible de la route et donc de dériver la position latérale du véhicule depuis les données du LiDAR arrière. Toutefois, ce jeu de données a été collecté dans un contexte urbain et à une VLA de 50km/h.



Figure 8 : Circuit d'expérimentation de juin 2015 (en rouge)

a)



b)

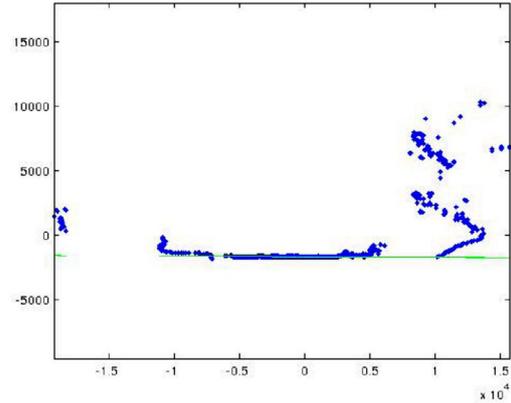


Figure 9 : Profil en travers mono-déversé : a) Caméra de scène ; b) Nuage de points (en bleu) et estimation du dévers (en vert).

a)



b)

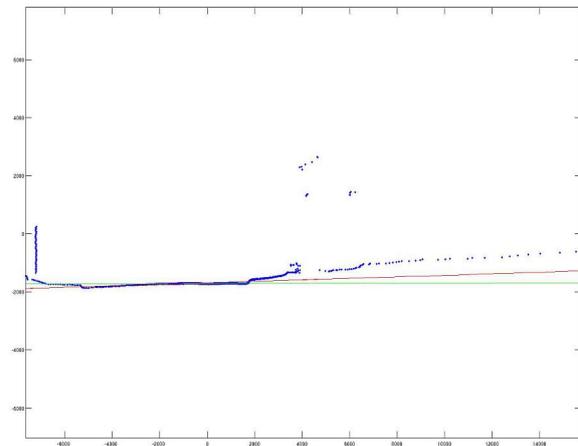


Figure 10 : Profil en travers en toit : a) Caméra de scène ; b) Nuage de points (en bleu) et estimation des dévers (en vert et en rouge).

Etude avec le véhicule de la DTerNC dans un contexte interurbain : première approche

Ainsi, la DTerNC a organisé en juin 2016 (T0+24mois), soit 2 mois après la recette effective des véhicules instrumentés, des passations sur un site instrumenté situé sur la RD6014. Ce nouveau test a été organisé afin de valider la méthode d'estimation des positions latérales en l'absence des passations planifiées fin 2016 par la DTerOuest. Le site est équipé d'une station de comptage permettant d'estimer la position latérale des véhicules avec une incertitude de mesure importante de l'ordre de 30 cm. L'infrastructure du site correspondait également à la typologie de routes étudiées dans le projet PROFIL.

Comme présenté sur la figure 11, le site est un alignement droit de 750 m avec une largeur roulable de 7 m et des marquages en rive et en axe.

Afin de valider les mesures de positions latérales, un dispositif basé sur un LiDAR bord de route a été placé au niveau de la station de mesure. Ce dispositif avait pour objectif de mesurer des positions latérales bord de route plus précises que la station de mesure de trafic. La précision attendue avec un LiDAR varie de 0,5 cm à 2 m jusqu'à 5 cm pour une mesure à 80 m.

Afin de connaître les positions longitudinales et latérales des véhicules circulant sur la chaussée, il est nécessaire de connaître la position du LiDAR et son orientation par rapport à la chaussée. Il en va de même pour les marquages. Un protocole d'installation du dispositif et de traitement du nuage de point issu de LiDAR bord de route a été mise en place. Les résultats sont présentés sur les Figure 12 et Figure 13.

Des passations ont été réalisées dans les deux sens sur ce site à différentes vitesses : 50 km/h, 70 km/h, 90 km/h.

L'ensemble des ces données ont été générées avant le recrutement du stagiaire ingénieur prévu dans le cadre du projet. L'objectif du stage était de créer la méthode de calcul des distances inter-véhiculaires prévues et de déployer la méthode d'estimation de position latérale mis en place sur le site urbain sur le jeu de données de la DTerOuest. Le phasage a également été concomitant à la prise du poste de responsable de l'Unité Métrologie des Trafics et des Trajectoires par Yohan DUPUIS en septembre 2016 (T0+28mois), réduisant *de facto* sa capacité de production pour la suite du projet.

Le stage a été pourvu par Vijay GOVINDAPPA, étudiant en Master of Automotive Electronic Systems à l'ESIGELEC. Ce stage a débuté en juillet 2016 (T0+25mois). Ce stage a fait l'objet d'un rapport remis à Julien SAUNIER, responsable du projet PROFIL (Govindappa, 2017).

Environ 30 % des objectifs du sujet de stage ont été atteints à l'issue du stage début janvier 2017 (T0+32mois).

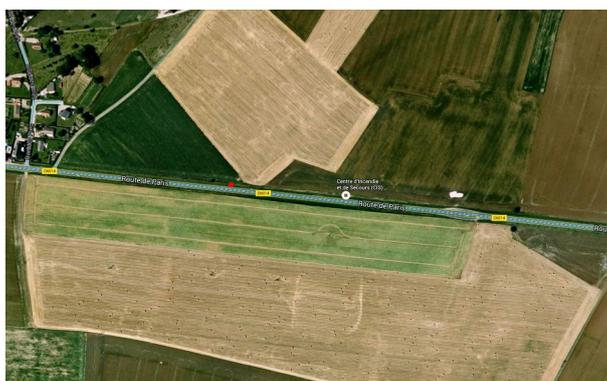


Figure 11 : Site du recueil de données situé sur la RD6014 à l'est de ROUEN

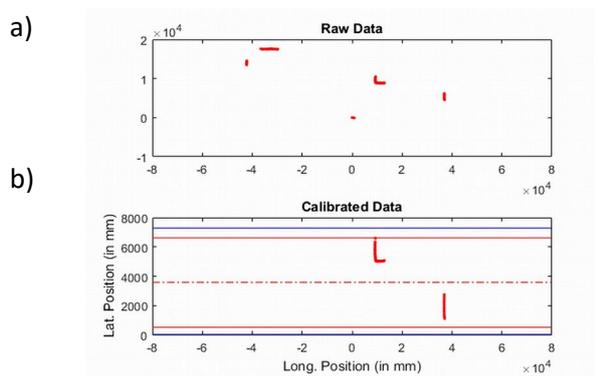


Figure 12 : Données LiDAR brutes (haut) - Données LiDAR calibrées (bas); ligne bleu: bord de plateforme, ligne rouge: marquages de rive, ligne pointillée: marquage d'axe

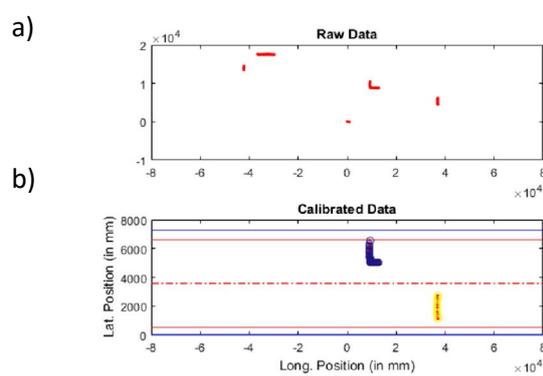


Figure 13 : Données LiDAR brutes (haut) - Données LiDAR calibrées avec détection des véhicules (bas)

Les sujets traités portent sur l'impact de la source de connaissance de la dynamique véhicule (GPS, centrale inertielle ou bus CAN) pour une estimation robuste et précise de la trajectoire du véhicule. La fusion des données des LiDAR avant et arrière a ensuite été abordée afin d'intégrer les données LiDAR avant dans les données historiques du LiDAR arrière. Enfin, l'extraction des véhicules dans les données du LiDAR avant a été brièvement abordée afin de calculer les distances inter-véhiculaires. En fin de stage, aucune méthode de mesure des distances inter-véhiculaires et de position latérale n'était disponible bien qu'elles constituaient les objectifs principaux du stage. Ce résultat s'explique par un manque de bagage technique du stagiaire imputable notamment par la singularité et la difficulté imposée par le sujet de traitement de données issues d'un mobile en déplacement.

Devant le retard accumulé jusque-là dans le déroulement du projet et du stage, Yohan DUPUIS a pris en charge en parallèle du stage le test de l'extraction de route des données LiDAR arrière à partir de la méthode présentée dans les figures 9 et 10. Il s'avère que la méthode n'était pas suffisamment robuste en environnement interurbain. En effet, le décrochage entre la plate-forme et l'accotement est quasi inexistante dans le voisinage proche de la limite largeur roulable / berme. Ainsi, il est impossible de détecter de manière fiable les limites de la route dans un voisinage de 50 cm autour de la fin de la largeur roulable.

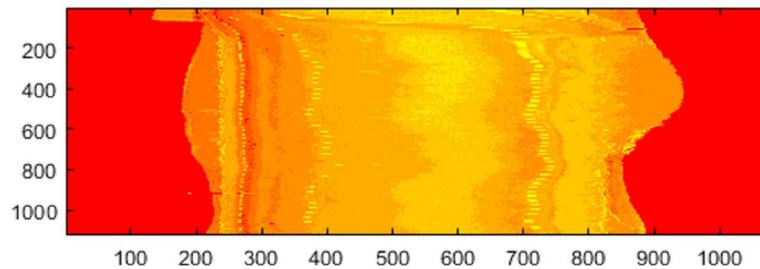
[Etude avec le véhicule de la DTerNC dans un contexte interurbain : deuxième approche](#)

Une nouvelle approche a donc été initiée. En lieu et place d'une approche géométrique pure et globale avec l'ajustement de l'estimation de dévers sur le nuage de points, nous avons choisi de classer chaque point du nuage de point de manière individuelle. Nous utilisons donc une approche de classification de chaque point du nuage à partir de caractéristiques locales caractérisant la cohérence géométrique et de texture obtenue à partir des amplitudes des échos LiDAR reçus. Ainsi, un classifieur à base de réseaux de neurones a été entraîné sur 100 m de passation à 50 km/h afin de permettre de détecter automatiquement la largeur roulable des données LiDAR arrière. La figure 14 présente les résultats de segmentation automatique sur une passation non utilisée pour l'entraînement de la brique de segmentation automatique.

Les zones rouges correspondent sur la figure 14a à des zones où aucun écho LiDAR n'est présent. Les zones représentées avec des gradients de jaune et orange sont proportionnelles aux variations d'amplitudes des échos retournés. On peut noter que les marquages sont très visibles dans les données puisque blancs et très réfléchissants contrairement à la chaussée qui est de couleur foncée.

Les zones rouges dans la figure 14b illustrent les mesures correspondant aux points classifiés comme n'appartenant pas à la plate-forme. On note que la segmentation est globalement satisfaisante dans l'attente de déploiement réel sur les données de passation des vingt sujets de la tâche 2.2.

a)



b)

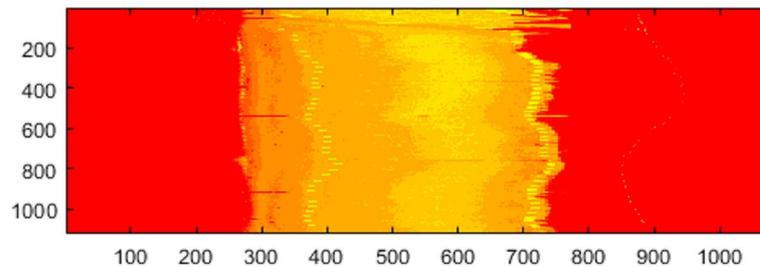


Figure 14 : a) Données brutes LiDAR ; b) Résultat de segmentation automatique par réseaux de neurones.

3.3. Traitement des données issues de la tâche 2.2

Traitement des données de la tâche 2.2 : première approche

Courant octobre 2016 (T0+30mois), des tests de transmissions des données sont réalisés entre le DTerNC et la DTerOuest. En effet, une passation d'un sujet représente environ 12 Go de données.

Les passations de dix sujets ont été transmises par la DTerOuest à la DTerNC fin novembre 2017 (T0+29mois). À la réception des données, les problèmes suivants ont été identifiés par la DTerNC :

- des données inertielles biaisées et semblant incohérentes : il s'est avéré que la centrale inertielle du VOICIE n'était pas fixée au châssis et que les axes de la centrale n'étaient pas nécessairement alignés pour mesurer les mouvements longitudinaux et transversaux du véhicule. Les mouvements longitudinaux et transversaux étaient donc dilués sur plusieurs axes et non propres aux axes x, y et z de la centrale. De plus, l'absence de fixation engendre la présence de nombreuses vibrations parasites dans les données inertielles.
- l'absence du cap GPS dans les données. Bien que validé lors de la recette d'avril 2016 (T0+23mois), l'enregistrement de ce paramètre a été supprimé par mégarde, lors d'une mise à jour du diagramme courant 2016, par la société Intempora à la demande de la DTerOuest souhaitant ajouter des fonctionnalités supplémentaires au VOICIE.

Ces deux sources de données sont essentielles à l'estimation d'une dynamique robuste du véhicule qui doit être fournie aux algorithmes de traitement des données LiDAR. Il a donc été décidé de s'affranchir des données inertielles et GPS puisque la moitié du corpus était déjà constitué. L'absence de ces données a nécessairement un impact sur la précision d'estimation de la dynamique véhicule et par conséquent ajoute une difficulté supplémentaire dans l'obtention des données de distances inter-véhiculaires et de position latérale fiables, homogènes et cohérentes dans le temps. Nous nous sommes donc intéressés aux données CAN afin d'obtenir une estimation de la dynamique véhicule en mode fortement dégradé.

La base de données complète a été remise à la DTerNC courant janvier 2017 (T0+31mois).

Après le départ du stagiaire de la DTerNC et en l'absence de résultats probants sur la mesure des inter-distances, les travaux de la DTerNC se sont focalisés sur la détection des véhicules dans le LiDAR avant depuis le véhicule en mouvement circulant sur le circuit défini par la DTerOuest.

L'état de l'art sur la détection d'objet mobile dans des données LiDAR depuis un véhicule met en évidence deux grandes approches : model-free ou model-based (Figure 15).

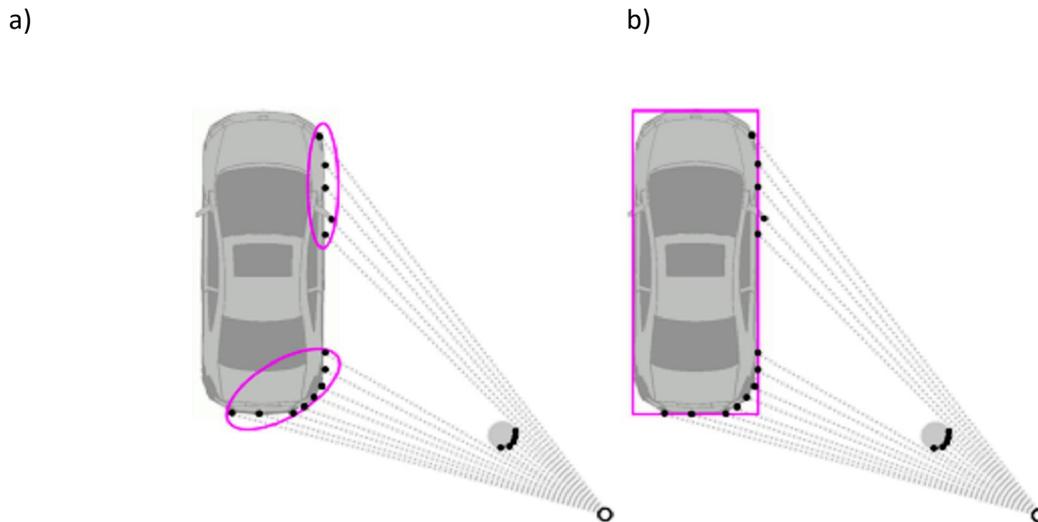


Figure 15 : Les deux grandes approches de la détection d'objet mobile dans des données LiDAR : a) model-free et b) model-based (Source : Petrovskaya, 2011).

Une approche de type model-free consiste à détecter un groupe de points mobiles sans connaissance *a priori* sur la forme et les dimensions de l'objet étudié. Une approche model-based utilise le facteur de forme d'un véhicule qui est assimilé à un rectangle dont les dimensions sont facilement estimées depuis les données LiDAR. Les approches model-based s'appliquent parfaitement dans le cas de LiDAR placés en surplomb du véhicule et multi-nappes comme c'est le cas de la Google Car par exemple. En effet, à partir d'une mesure LiDAR, il est fort probable d'observer la quasi-totalité du véhicule rendant possible l'estimation des dimensions. Les approches model-free sont utilisables dans le cas de LiDAR placés à hauteur du pare-chocs de véhicule puisque la vue des autres véhicules est partielle depuis ce point de vue. L'enjeu est de détecter et agréger un nuage de point pouvant être très déformable d'un point de vue temporel.

Nous avons donc implémenté la méthode existante dans l'état de l'art proposé par Wang (2014). Ces travaux réalisés par l'Université d'Oxford sont très proches en termes d'instrumentation de nos travaux comme nous pouvons le constater sur la figure 16.

Le LiDAR utilisé est de la famille DMRS proposée par la société Sick également fournisseur de nos LiDAR. La mesure est réalisée sur quatre plans contrairement à notre LiDAR qui n'utilise qu'un plan. L'information est donc plus riche et plus robuste aux mouvements de caisse du véhicule dans le cas de l'Université d'Oxford.



Figure 16 : Robocar de l'Université d'Oxford - le LiDAR quatre nappes est installé sous la plaque d'immatriculation. (Source : Université d'Oxford).

Après une implémentation finalisée en avril 2017 (T0+33mois), il s'est avéré que les résultats n'étaient pas concluants sur les données issues du VOICIE s'expliquant principalement par une différence importante de contexte. En effet, la quasi-intégralité des travaux de la littérature sont réalisés en zone urbaine ou périurbaine. On dispose d'un environnement, dès lors, très structuré et riche en information. Les vitesses basses permettent également une bonne stabilité de la représentation d'un même objet entre deux mesures consécutives rendant l'association et le suivi d'objets statiques ou dynamiques plus simple. De plus à vitesses faibles ou modérées, l'impact d'absence d'estimation robuste de la dynamique véhicule est négligeable pour un véhicule dont le taux de rotation est faible en conditions normales de circulation.

Dans un contexte interurbain, les vitesses pratiquées sont beaucoup plus élevées. Les objets apparaissent donc comme plus déformables dans les mesures LiDAR puisque les impacts LiDAR ont lieu de manière plus diversifiés sur une même objet. De plus, les objets sont beaucoup moins structurés dans une scène routière interurbaine que dans une scène urbaine : absence d'amers comme des lignes ou des coins permettant de caractériser singulièrement chaque objet et rendant possible le suivi et, ainsi, la dissociation des objets statiques et mobiles. Cette limite milite en faveur des LiDAR multi-nappes placés sur le toit des véhicules couplés à des dispositifs de connaissance de la dynamique très précis et robustes. On note d'ailleurs qu'en 2017 la quasi-totalité des solutions commerciales de véhicules autonomes se basent sur des capteurs LiDAR ou non placés sur le toit des véhicules. Des solutions de LiDAR dans le pare-chocs existent sur étagère mais fonctionnent dans des cas d'usages précis comme les infrastructures autoroutières très structurées et normalisées.

Traitement des données de la tâche 2.2 : deuxième approche

Nous avons initié le développement d'une nouvelle méthode en avril 2017 (T0+34mois) pour répondre à la problématique liée au contexte interurbain. Nous avons donc relaxé le problème en utilisant le fait que notre problème était hors-ligne. Autrement dit, nous pouvons bénéficier de données futures (instant t+n) pour traiter des données présentes (instant t).

Pour classifier des données du LiDAR avant couvrant un champ de vue de 80 m sur 180° à l'instant t, nous exploitons la trajectoire dérivée des données CAN et LiDAR arrière présentes et futures entrant dans le champ de vue à l'instant t du LiDAR avant.

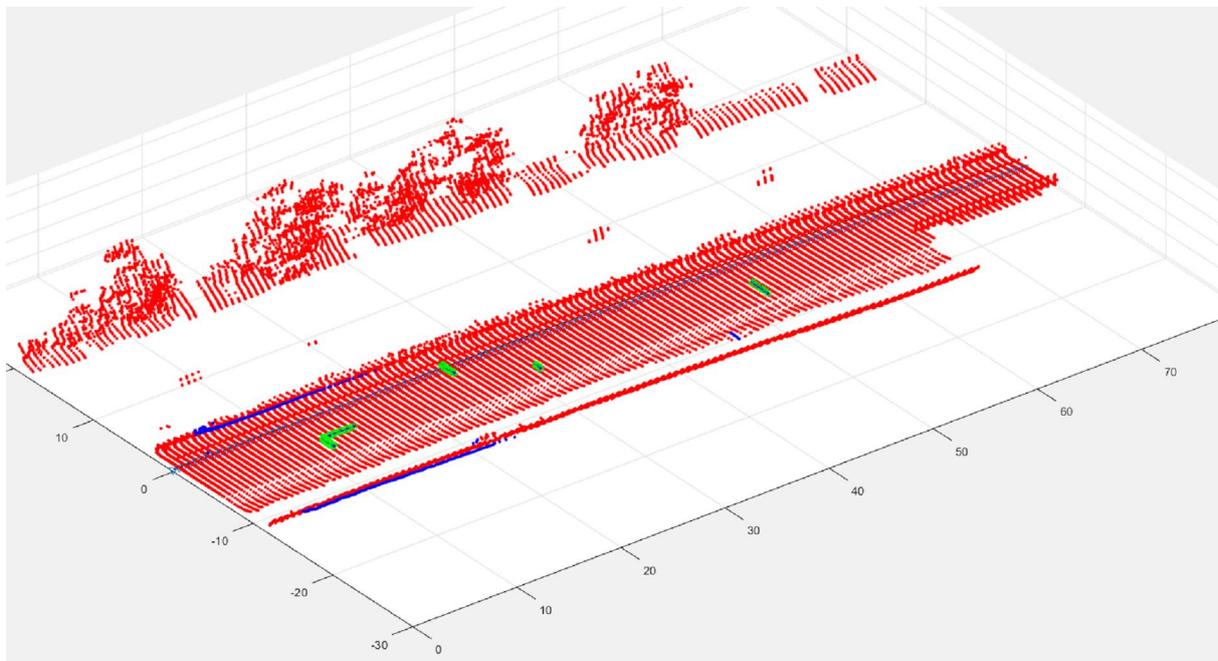


Figure 17 : Détection des véhicules situés à l'avant du véhicule instrumenté :Rouge : mesures du LiDAR arrière ;Bleu : Mesures du LiDAR avant ;Vert : Mesure du LiDAR détectées comme des véhicules. L'échelle de gauche représente la position latérale en mètres. L'échelle du bas représente la position longitudinale en mètres. Lecture de gauche à droite : les quatre « nuages de points » verts représentent les données de quatre véhicules à un instant donné.

Les résultats issus de cette approche sont présentés sur la figure 17. Le cumul des profils en travers nous permet d'obtenir une reconstruction 3D de l'infrastructure routière sur l'ensemble de champ de vue à l'instant t (en rouge). On peut noter un alignement correct de données issues du LiDAR avant (bleu) et du LiDAR arrière. Une méthode de correction temporelle a également été créée afin d'obtenir des données du LiDAR arrière cohérentes malgré les étapes d'intégration normalement sujettes à des dérives importantes de trajectoires. Les objets présents sur la route sont ensuite détectés à partir d'hypothèses de hauteurs relatives à la hauteur de numérisation du LiDAR avant du véhicule instrumenté. Comme nous le constatons sur la figure 17, les quatre véhicules présents à l'avant sont correctement détectés. Aucun faux positif n'est également présent.

Un premier jeu de données comprenant les distances inter-véhiculaires d'un sujet sur la partie bidirectionnelle du circuit de la DTerOuest, soit 45 minutes de données sur une heure de passation, a été transmis à la DTerOuest fin juillet 2017 (T0+37mois) pour validation.

Les figures 18 à 20 présentent des exemples de résultats obtenus pour les inter-distances sur des situations de dépassement et de croisements.

La capacité de détection des véhicules croisés ou suivis est bonne. Autrement dit, les mesures sont bien présentes lorsque le véhicule instrumenté croise ou suit un autre véhicule. De plus, les mesures semblent pertinentes et cohérentes avec les éléments visibles dans la caméra de contrôle du véhicule instrumenté.

La cohérence temporelle et donc le suivi d'un même objet n'est cependant pas garantie puisque l'approche proposée n'implémente pour le moment pas de suivi. Un critère de position latérale est utilisé afin d'attribuer un identifiant aux données de positions latérale. Cette approche traite bien une scène dans laquelle un seul véhicule est présent. Dès lors que la composition de la scène routière

a un nombre fluctuant de véhicule dans le temps, les identifiants changent pour un même objet bien que la mesure de distance soit bien présente.

La DTerOuest a indiqué à la DTerNC que ce point était important pour l'analyse de ces données et le traitement des données fin juillet 2017 (T0+37mois).

La DTerNC n'a pas été en mesure, par manque de disponibilité liées aux nouvelles fonctions du responsable de la tâche, de traiter ce problème avant la fin du projet. Ce point aurait pu être traité si la tâche 2.1a n'avait pas glissé autant puisque 30 mois étaient initialement alloués entre la constitution du jeu de données et la fin du projet.

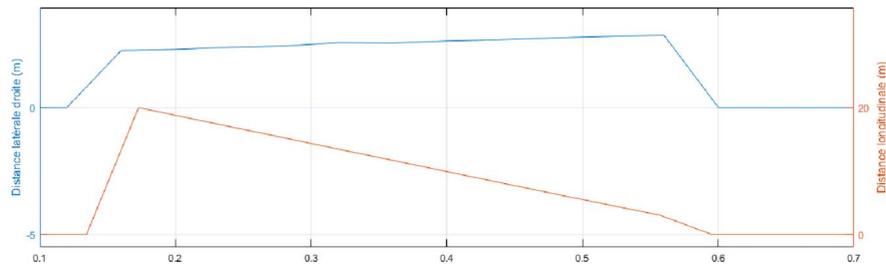


Figure 18 : Données de distances inter-véhiculaire - Cas d'un croisement sur le RD786.

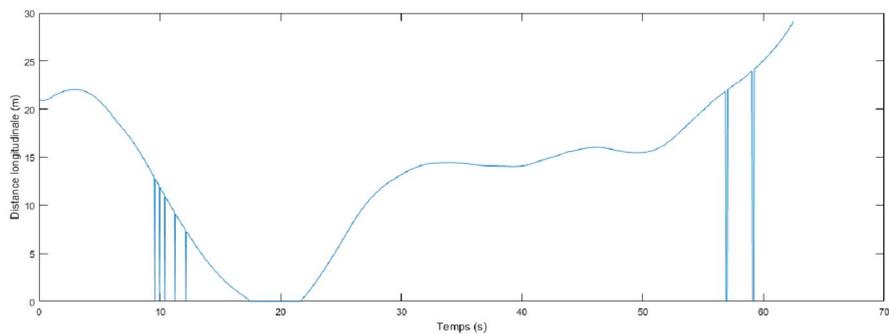


Figure 19 : Données de distances longitudinales - Cas d'un dépassement avorté.

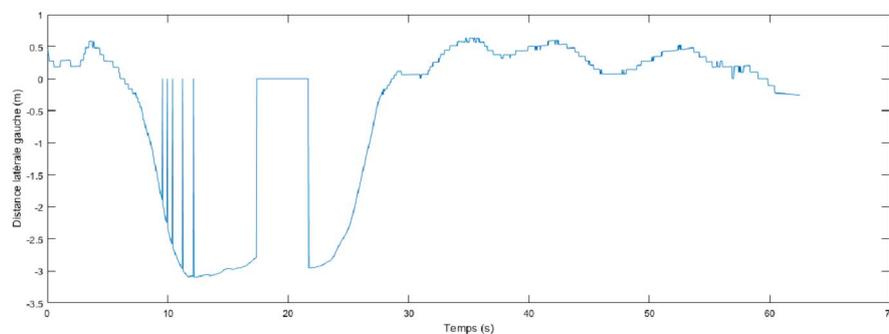


Figure 20 : Données de distances latérales - Cas du dépassement avorté précédent.

La tâche 2.1b peut être considérée comme achevée à T0+38mois. La tâche 2.1c correspondant à l'adaptation et le perfectionnement des méthodes au jeu de données collecté va suivre son cours au-delà de la fin du projet.

L'absence de résultats concrets sur les tâches 2.2 et 4 s'expliquent pas le retard pris au cours de la tâche 2.1. Ce retard s'explique par :

- le retard de 20 mois sur la tâche 2.1a imputable à la mise en place d'un MAPA, les aspects réglementaires liés au déploiement des véhicules instrumentés, l'intervention de prestataires extérieurs au projet pour l'instrumentation des véhicules dont les disponibilités n'ont pas toujours été en phase avec le déroulement du projet ;
- une mauvaise appréhension de l'état de l'art en matière de traitement des données LiDAR dans un contexte interurbain. En effet, l'effet de masse des publications dans le domaine laissent à penser que les problèmes sont résolus dans le cas des contextes urbain, interurbain et autoroutier. Il s'est avéré que les méthodes de l'état de l'art ne fonctionnent pas dans le cas interurbain et notamment sur route où peu d'équipements de la route peuvent servir d'amer ;
- l'absence de résultats probant à l'issue du stage de fin d'étude étant donné l'originalité du projet et le manque de formations disponibles dans l'enseignement supérieur au sujet du traitement de données LiDAR et véhicules. A l'issue du stage, il a été identifié qu'un profil de type post-doctorat aurait été plus adapté pour traiter le sujet puisque la thématique a atteint un niveau de maturité et de popularité suffisamment important dans les laboratoires de recherche français créant *de facto* un vivier potentiel de personnel de recherche pouvant traiter ce problème. Toutefois, un personnel non permanent supplémentaire aurait significativement alourdi la demande de subvention dans le cadre du projet ;
- une réduction significative de la capacité de production de la DTerNC suite au passage d'un poste de chef de projet à un poste d'encadrement de huit agents de Yohan DUPUIS à partir de T0+26mois bien que le niveau de mise à disposition, sur lequel le Cerema s'est engagé, ait été atteint bien avant la création de la base de données des vingt sujets pendant les tâches 2.1a et la période préliminaire à la mise à disposition de la base réelle des vingt sujets.

4. Références bibliographiques

- Govindappa, V. (2017). Segmentation of dynamic and static objects using 2D Lidar (Master Thesis). ESIGELEC, France.
- Petrovskaya, A. (2011). Towards dependable robotic perception (PhD Thesis). Stanford University, USA.
- Wang, D. Z. (2014). Laser-based detection and tracking of dynamic objects (PhD Thesis). University of Oxford, United-Kingdom.

III. Trajectoire des usagers en Côtes d'Armor : comparaison des trajectoires en situation réelle et en situation simulée (Tâche 2.2)

1. Effet du profil en travers sur la trajectoire en situation réelle de conduite (Tâche 2.2.a)

1.1. Introduction

S'il ne fait pas de doute que la tâche de conduite consiste, au niveau opérationnel, à réguler non seulement la vitesse du véhicule, mais également sa position latérale (Allen, Lunenfeld, & Alexander, 1971) force est de constater que la majorité des travaux en sécurité routière se sont surtout focalisés sur la description des facteurs influençant la régulation de la vitesse et que peu de connaissances existent sur l'impact des caractéristiques du profil en travers de la route sur le comportement latéral des conducteurs (Rosey, 2015). Ceci n'est guère étonnant sachant qu'il est actuellement beaucoup plus aisé de mesurer en continu les vitesses pratiquées par les conducteurs que de mesurer leur position latérale (cf. Tâche 2.1.a, § II à la page 9).

L'objectif de notre étude était donc d'acquérir, d'une part, des connaissances sur les positions latérales adoptées par les conducteurs sur les routes bidirectionnelles communément rencontrées sur le réseau routier français et, d'autre part, sur l'impact du trafic croisé sur ce positionnement.

Gibson et Crooks (1938) ont proposé que la conduite automobile, comme les autres modes de locomotion humaine que sont la marche et la course consistait à se déplacer sur un terrain vers une destination en empruntant un chemin évitant les obstacles. Dans le cas de la conduite automobile, ce terrain est la route et la trajectoire adoptée sur cette route par le conducteur est dépendante des obstacles rencontrés. Ces obstacles peuvent être des éléments physiques fixes (trottoir, arbre) ou mouvants (les autres usagers de la route) mais également des éléments symboliques (signalisation routière). Selon ces mêmes auteurs, les obstacles ont une valence négative, c'est-à-dire que la trajectoire adoptée vise à les éviter mais cette valence négative peut être plus forte pour certains objets que pour d'autres et pour un même objet, elle peut varier en fonction du contexte. Dans cette perspective, les indices visuels de la largeur de voie (les limites de la chaussée ou les marques sur chaussées) et le trafic sont des obstacles qui peuvent potentiellement influencer sur la trajectoire adoptée par le conducteur.

L'activité de conduite peut être décrite selon trois niveaux (Michon, 1985) : i) le niveau stratégique qui porte sur les décisions concernant la destination du trajet, le mode de transport utilisé, la route suivie, le planning de réalisation envisagé ; ii) le niveau tactique qui porte sur les actions liées aux manœuvres, telles que les manœuvres de dépassement, de changement de voie, de franchissement ou de traversée d'intersection et iii) le niveau opérationnel qui concerne le contrôle longitudinal et latéral du véhicule. L'étude menée ici concerne à la fois les niveaux opérationnel et tactique de l'activité de conduite puisqu'il s'agit d'une part, de s'intéresser à l'effet du profil en travers sur la position latérale des conducteurs en situation réelle de conduite et, d'autre part, à l'impact du croisement de véhicule.

Après un bref rappel des principales caractéristiques du profil en travers des routes bidirectionnelles françaises, nous ferons une revue des connaissances actuelles de l'effet du profil en travers et du trafic sur la trajectoire des conducteurs.

Les principales caractéristiques du profil en travers des routes bidirectionnelles

Bien que la conception des routes fasse l'objet de recommandations, la variété des éléments du profil en travers d'une route (largeur de voie, largeur de bande dérasée, Figure 21) permet potentiellement la construction de routes bidirectionnelles très variées. En France, des largeurs de voies comprises entre 3,00 et 3,50 m sont recommandées (France, Ministère de l'Équipement, Direction des Routes, & Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1994). Concernant la délimitation des voies à l'aide de marques sur chaussées, elle n'est pas obligatoire, sauf sur autoroute et route express (France, 1988a). Il est déconseillé de réaliser un marquage axial quand la largeur de la chaussée est inférieure à 5,20 m (France, 1988, Article 114). Les routes marquées en rive permettent, de fait, d'offrir une zone de récupération puisqu'elles offrent une bande dérasée revêtue d'au moins la largeur de la bande de rive mais il est possible de prévoir des bandes dérasées revêtues plus larges. Malgré la variété des profil en travers permise, actuellement, on distingue principalement trois grands types de profil en travers sur les routes bidirectionnelles françaises (Figure 21). Si la largeur de chaussée est suffisante pour permettre la création de deux voies à 3, 5 m, c'est cette largeur de voie qui est privilégiée au détriment d'une bande dérasée dont la largeur ne permet de supporter que le marquage de rive (Figure 21a). Si des largeurs de voies inférieures ou égales à 3 m sont permises, très souvent les marques de rive et donc la bande dérasée sont supprimées (Figure 21b). Enfin pour des largeurs de voies inférieures, c'est le marquage d'axe qui est supprimé (Figure 21c).

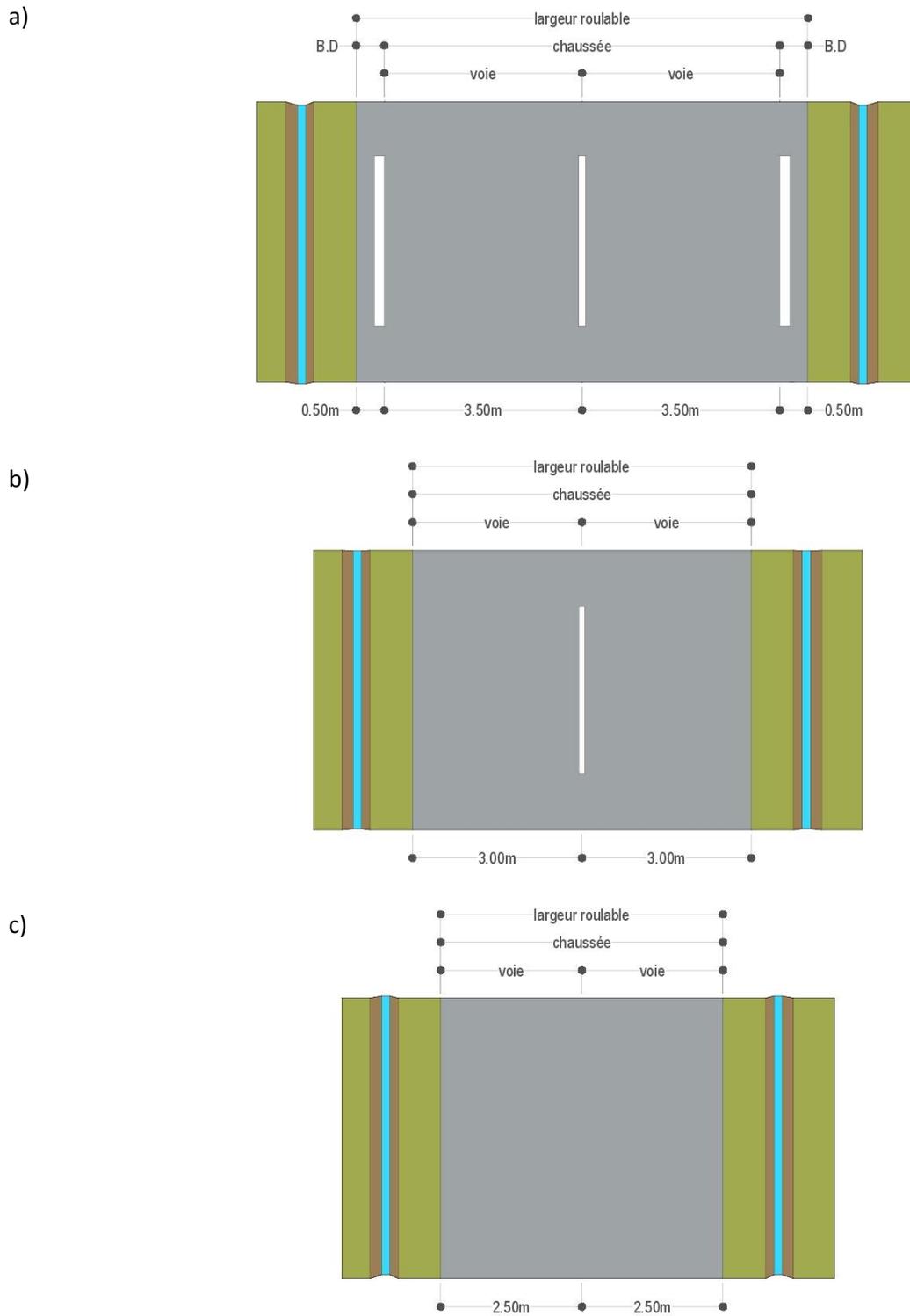


Figure 21 : Les principales caractéristiques des profils en travers des routes bidirectionnelles : a) cas d'une chaussée avec marques d'axe et de rives ; b) cas d'une chaussée avec marques d'axe uniquement ; c) cas d'une chaussée sans marques sur chaussée. B.D : Bande dérasée.

Les facteurs influençant la trajectoire des conducteurs

Les facteurs liés aux caractéristiques du profil en travers

Effet de la largeur de voie

La littérature existante rend difficile la compréhension de l'impact de la largeur de voie sur le comportement latéral en situation de conduite réelle pour plusieurs raisons. La première c'est qu'en dehors du travail réalisé dans la tâche 3 de ce projet (Mecheri, Rosey, & Lobjois, 2017) et des travaux de De Waard et al.(1995) ainsi que Godley (1999) et Godley et al. (2004) qui portent explicitement sur des questions d'ergonomie de la route, les autres études s'intéressant à l'effet de la largeur de voie sur le comportement latéral des conducteurs visent d'abord à répondre à des questions portant sur les processus mentaux impliqués dans la conduite (Dijksterhuis, Brookhuis, & De Waard, 2011; Green, Lin, & Bagian, 1994; Lewis-Evans & Charlton, 2006). De ce fait, l'ensemble des caractéristiques de la route ne sont pas forcément connus ou ne sont pas forcément en accord avec les pratiques de conception⁵. La deuxième raison porte sur le fait que parmi ces études, seulement l'une d'entre elle nous renseigne sur le comportement en route réelle (De Waard et al., 1995), les autres ayant toutes été réalisées sur simulateur de conduite. Troisièmement, un problème récurrent lié à l'étude des comportements du conducteur concerne l'absence d'utilisation de définitions standardisées (Green, 2012) ce qui donne lieu parfois à une difficulté de compréhension du comportement mesuré. Par exemple, dans la seule étude ayant été réalisée sur route (De Waard et al., 1995), il est indiqué que la mesure de la position latérale se fait par rapport au marquage axial de la route mais on ne connaît pas le point de référence au niveau du véhicule. Enfin, pour certains comportements, et c'est particulièrement vrai pour la position latérale (Society of Automotive Engineers, 2015), plusieurs mesures différentes peuvent être utilisées pour un même comportement ce qui rend d'autant plus compliquées les comparaisons des résultats entre les études. Dans les travaux que nous avons identifiés s'intéressant à l'effet de la largeur de voie sur la position latérale, les mesures utilisées concernent la position latérale par rapport au centre de la voie (Dijksterhuis et al., 2011; Lewis-Evans & Charlton, 2006) ou par rapport au centre de la route (Armour, 1985; De Waard et al., 1995; Green et al., 1994) ou encore par rapport aux marques de rive (Godley, 1999). Seul le travail réalisé dans la tâche 3 (Mecheri et al., 2017) analyse l'effet de la largeur de voie sur la position latérale par rapport au centre de la voie et par rapport au centre de la route.

Malgré ces difficultés d'interprétation, il ressort de ces quelques études que les conducteurs tendent à rouler plus près du centre de la route avec la diminution de la largeur de la voie (Armour, 1985; De Waard et al., 1995; Dijksterhuis et al., 2011; Godley, 1999; Green et al., 1994; Lewis-Evans & Charlton, 2006; Mecheri et al., 2017). Néanmoins ceci peut s'expliquer du fait que les conducteurs semblent adopter une stratégie qui est celle de rouler au centre de la voie peu importe la largeur de voie (Green et al., 1994) et donc, que toute diminution de la largeur de voie implique naturellement une diminution de la position par rapport au centre de la route. Néanmoins, cette stratégie de rouler au centre de la voie ne s'observe pas dans toutes les études. Ainsi, en situation réelle, Green et al. (1993) notent qu'en moyenne les conducteurs roulent très légèrement sur la gauche de la voie donc vers le centre de la route. Sur simulateur de conduite, Green et al. (1994) observent que les conducteurs adoptent une position au centre de la voie pour toutes les largeurs de voie mais ils notent que si les conducteurs ne conduisent pas au centre de la voie, ils ont plutôt tendance à conduire sur la gauche de celle-ci donc vers le centre de la route. Au contraire, chez Godley (1999) et Mecheri et al. (2017) les conducteurs adoptent plutôt une position vers la rive de la voie, position qui semble s'accroître avec la diminution de la largeur de la voie alors que chez Lewis-Evans et Charlton (2006), les conducteurs adoptent une position vers la rive pour les routes larges et une position vers le centre de la route pour les routes étroites. En résumé, concernant l'effet de la largeur de la voie

⁵ C'est par exemple le cas avec l'étude de Dijksterhuis et al. (2011) dans laquelle des routes avec des chaussées inférieures ou égales à 5 m sont marquées en axe et en rive.

sur le positionnement latérale, s'il semble acquis qu'avec la diminution de la largeur de la voie, les conducteurs roulent plus près du centre de la route, il est difficile de savoir si c'est lié ou non au fait qu'ils ne modifient pas leur positionnement par rapport au centre de la voie. Par contre, il est clair qu'avec la diminution de la largeur de la voie, la variabilité de la position latérale diminue que ce soit en situation réelle de conduite (De Waard et al., 1995) ou sur simulateur de conduite (Dijksterhuis et al., 2011; Godley et al., 2004; Green et al., 1994; Mecheri et al., 2017). Ceci serait lié à l'effort plus important fourni par les conducteurs dans le contrôle de la trajectoire. Cet effort supplémentaire se manifeste par une modification de la stratégie du contrôle de l'angle du volant qui consiste à effectuer plus fréquemment des micro mouvements du volant ce qui se traduit par une augmentation des mouvements dans le domaine des hautes fréquences avec la diminution de la largeur des voies (De Waard et al., 1995; McLean & Hoffman, 1972) ou encore une augmentation de la variabilité de l'angle du volant (Godley et al., 2004). Concernant l'impact de la largeur de voie sur les vitesses pratiquées, si certaines études montrent que la vitesse choisie ou pratiquée tend à diminuer avec la diminution de la largeur de voie que ce soit en situation réelle de conduite (Charlton & Starkey, 2016; De Waard et al., 1995) ou sur simulateur de conduite (Charlton & Starkey, 2016; Godley et al., 2004; Lewis-Evans & Charlton, 2006), certaines études sur simulateur de conduite n'ont pas montré d'effet d'une modification de la largeur de voie sur les vitesses pratiquées (Green et al., 1994; Mecheri et al., 2017).

Effet de la largeur de la bande dérasée

Que ce soit sur routes bidirectionnelles (Bella, 2013; Mecheri et al., 2017) ou sur routes à chaussées séparées (Ben-Bassat & Shinar, 2011; Liu, Wang, & Fu, 2016; van der Horst & de Ridder, 2007), les conducteurs tendent à circuler plus vers la rive en présence d'une bande dérasée. Par contre, l'augmentation de la largeur de la bande dérasée ne semble pas affecter la variabilité de la position latérale (Ben-Bassat & Shinar, 2011; Mecheri et al., 2017) ce qui suggère que contrairement à la largeur de la voie, la largeur de la bande dérasée n'a pas d'effet sur la stratégie de contrôle latéral de la trajectoire. Concernant l'impact de la largeur de la bande dérasée sur les vitesses, si certaines études n'ont pas observé d'effet de la largeur de la bande dérasée de droite sur les vitesses pratiquées que ce soit sur routes bidirectionnelles (Mecheri et al., 2017) ou sur routes à chaussées séparées (van der Horst & de Ridder, 2007), au contraire, d'autres études observent que la vitesse pratiquée augmente avec l'augmentation de la largeur de la bande dérasée que ce soit sur route bidirectionnelle (Bella, 2013) ou sur routes à chaussées séparées (Liu et al., 2016). De leur côté, Ben-Bassat et Shinar (2011) observent, sur route à chaussées séparées, que l'augmentation de la largeur de la bande dérasée induit une augmentation de la vitesse pratiquée uniquement en présence d'une glissière de sécurité.

Effet du marquage horizontal

Concernant l'effet du marquage horizontal sur la position latérale, toutes les études que nous avons pu identifier portent principalement sur l'effet de l'ajout du marquage de rive sur la position latérale et la vitesse. Notre revue de la littérature qui ne prétend pas à l'exhaustivité (Armour, 1985; Middleton, 1976; Missouri State Highway Department, 1969; Ranney & Gawron, 1986; Steyvers & De Waard, 2000; Sun & Tekell, 2005; Thomas, 1958 cité par Rosey, 2015; Tsyganov, Machemehl, Warrenchuk, & Wang, 2006), tout comme celles menées par d'autres (Smith, 1976; van Driel, Davidse, & van Maarseveen, 2004) montrent que les résultats de l'effet du marquage de rive sur la vitesse et la position latérale sont contradictoires. Comme l'a proposé Smith (1976) et l'ont démontré van Driel et al. (2004), ces résultats contradictoires suggèrent que d'autres facteurs que la présence ou non de marques de rive interviennent dans le positionnement latéral et la vitesse. D'après la méta-analyse conduite par van Driel et al. (2004), l'effet du marquage de rive sur la position latérale dépend d'autres facteurs que sont la largeur de la bande dérasée, l'environnement de la route (présence d'arbres ou de bâtiments *versus* paysage ouvert) mais aussi de la largeur de voie. Ainsi, l'ajout d'un marquage de rive en présence d'une bande dérasée large, d'une voie large ou d'un environnement

routier comprenant des arbres ou de bâtiments favoriserait un déport des conducteurs vers la bord de la chaussée. Au contraire, l'ajout d'un marquage de rive en présence d'une bande dérasée étroite, d'une voie étroite ou d'un environnement routier de type paysage ouvert favoriserait un déport vers le centre de la chaussée. Concernant l'impact sur les vitesses pratiquées, l'effet dépend largement de la présence ou non de marquage axial. Ainsi, l'ajout d'une marque de rive à une route ne présentant aucune marque induit une augmentation des vitesses pratiquées. Au contraire, le remplacement d'une marque d'axe par une marque de rive induit une diminution des vitesses. Enfin, l'effet de l'ajout d'une marque de rive en plus d'une marque d'axe n'est pas clair.

Influence du trafic croisé

Concernant l'impact des obstacles mobiles que sont les véhicules circulant en sens inverse, on peut distinguer les études qui se sont intéressées aux modifications comportementales liées aux croisements d'un véhicule à l'échelle locale de celles qui se sont intéressées à l'impact de différents niveaux de trafic sur les comportements des conducteurs à l'échelle d'une section de route. Les études au niveau local ont été réalisées en situation réelle de conduite en véhicule instrumenté (Helander, 1978), par suivi de véhicule (Triggs, 1980, 1997) ou encore par l'intermédiaire d'observatoires (Armour, 1985; Bunker & Parajuli, 2006; Summala, Leino, & Vierimaa, 1981). Les études à l'échelle d'une section de route concerne toutes des études en simulateur de conduite (Charlton & Starkey, 2016; Dijksterhuis et al., 2011; Mecheri et al., 2017; Rosey, Auberlet, Moisan, & Dupré, 2009).

Les études qui se sont intéressées aux modifications comportementales autour du croisement d'un véhicule montrent que pendant l'approche d'un véhicule en sens inverse, les conducteurs de véhicules légers s'écartent du centre de la route (Armour, 1985; Bunker & Parajuli, 2006; Summala et al., 1981; Triggs, 1980, 1997). Ils se déportent progressivement du centre de la route avant de reprendre leur position initiale (Summala et al., 1981; Triggs, 1980, 1997). Ce déport est de l'ordre d'une vingtaine de centimètres voire plus si la position initiale du conducteur est proche du centre de la voie (Triggs, 1997). Le début de ce mouvement d'évitement est variable suivant la position initiale des conducteurs dans leur voie de circulation, il peut en effet débuter 10 secondes avant le croisement mais au plus tard 5 secondes avant celui-ci (Triggs, 1997). Le déport serait maximal dans les 800 ms avant le croisement (Triggs, 1997). Ceci est en accord avec le fait que les études basées sur des observatoires notent que l'effet de la présence d'un véhicule en sens inverse se fait ressentir sur la positionnement latéral d'un véhicule dans un intervalle de 7 secondes en amont de l'occurrence du croisement (Armour, 1985; Bunker & Parajuli, 2006). La variabilité de la position latérale est plus élevée en amont et en aval du croisement qu'au moment de ce croisement ce qui suggère un effet de "tunnel" lié au croisement d'un véhicule (Triggs, 1997). Par contre, la vitesse ne semble pas évoluer au cours du croisement (Triggs, 1997). Ce mouvement d'évitement des véhicules circulant en sens inverse donne lieu à un mouvement d'angle du volant de correction dans les deux secondes qui précèdent le croisement (Helander, 1978). Ces mouvements d'évitement et de correction liés au croisement d'un véhicule sont identiques que le véhicule croisé soit un véhicule léger, un utilitaire ou un poids-lourds (Bunker & Parajuli, 2006). Par contre, ils sont plus prononcés sur des routes étroites que sur des routes larges (Helander, 1978; Summala et al., 1981) et ils ne semblent pas être observés chez les conducteurs contraints par des véhicules circulants devant eux (Helander, 1978; Summala et al., 1981).

Lorsqu'on s'intéresse plus globalement à l'effet du niveau du trafic sur le comportement des conducteurs à l'échelle d'une section de route, on note que de manière cohérente avec ce qui est observé à un niveau ponctuel dans les études précédentes, les conducteurs adoptent des positions latérales plus éloignées du centre de la route en présence de trafic qu'en l'absence de trafic (Mecheri et al., 2017) et que cet éloignement du centre de la route est plus élevé pour des niveaux de trafic élevés que des niveaux de trafic faibles (Dijksterhuis et al., 2011) mais il est identique que le véhicule croisé soit un véhicule léger ou un poids-lourds (Rosey et al., 2009). De plus, la variabilité de la position latérale est plus faible en présence qu'en l'absence de trafic (Mecheri et al., 2017) et elle est plus faible

pour des niveaux de trafic élevés que des niveaux de trafic faibles(Dijksterhuis et al., 2011) ce qui est en accord avec l'effet "tunnel" lié au croisement d'un véhicule noté précédemment. On notera que cette élévation du niveau de trafic est accompagnée par une augmentation du risque perçu (Charlton & Starkey, 2016; Dijksterhuis et al., 2011). Concernant l'impact sur les vitesses pratiquées, si certaines études montrent que la vitesse diminue en présence ou avec l'augmentation du niveau de trafic (Charlton & Starkey, 2016; Rosey et al., 2009), d'autres n'observent pas d'effet du trafic sur les vitesses pratiquées(Mecheri et al., 2017) ce qui semble plus en accord avec les observations en situation réelle n'indiquant pas de modification de la vitesse lors du croisement d'un véhicule(Triggs, 1997).

Objectif de l'étude

Afin d'étudier l'impact de différentes caractéristiques du profil en travers de route bidirectionnelle sur la trajectoire des conducteurs en situation réelle de conduite, nous avons mené une étude en véhicule instrumenté visant à faire circuler les conducteurs sur différentes configurations de profil en travers. Le premier objectif de cette étude était d'acquérir des connaissances sur l'effet de la largeur de la route, de la bande dérasée et du marquage horizontal sur la trajectoire des conducteurs en l'absence de trafic. Cet objectif qui porte sur le niveau opérationnel de l'activité de conduite visait notamment à éclaircir si, comme certaines études le suggèrent, les conducteurs adoptent systématiquement une position latérale visant à centrer le véhicule au milieu de sa voie, peu importe les caractéristiques du profil en travers. Le deuxième objectif de cette étude était d'acquérir des connaissances sur l'effet de la largeur de la route, de la bande dérasée et du marquage horizontal sur la trajectoire des conducteurs en présence de trafic. Ce deuxième objectif qui porte sur le niveau stratégique de l'activité de conduite visait notamment à éclaircir si le déport lié à la présence de trafic vise à maintenir, avec les véhicules croisés, une espace libre latéral identique, peu importe les caractéristiques du profil en travers. Nous nous focaliserons dans cette étude, uniquement sur les trajectoires en alignement droit. Pour éclaircir l'impact du profil en travers et du trafic sur la performance globale du conducteur, les réponses du conducteur en termes de position et d'inter-distances latérales, de vitesse et d'angle du volant seront analysées.

1.2. Matériels et méthodes

Participants

Vingt personnes ont été recrutées au sein du Département Laboratoire de Saint-Brieuc de la DTerOuest du Cerema. Les critères de recrutements étaient les suivants :

- être titulaire d'un permis B valide et dont la fin de la période probatoire date d'au moins 1 an ;
- avoir un âge compris entre 21 et 64 ans ;
- conduire au moins 4000 km/an tous véhicules confondus. Si le participant conduisait fréquemment en deux-roues motorisés, il devait au moins conduire 1000 km/ an en voiture ;
- vue normale ou corrigée et ne pas souffrir d'une pathologie visuelle connue telle qu'un glaucome. La presbytie, l'hypermétropie, la myopie, l'astigmatisme et le daltonisme n'étaient pas des contre-indications ;
- pour les femmes, ne pas être enceinte.

L'expérience s'est déroulée du 7 novembre au 16 décembre 2016. Chaque participation s'est déroulée sur le temps de travail. L'expérience a été conduite conformément au code de déontologie des psychologues (GIRÉDÉP, 2012), ainsi le consentement libre et éclairé de tous les participants a été recueilli avant de débiter l'expérience(Annexe 7.1).Un dédommagement en tickets cadeaux pour un montant de 45 euros était remis à l'issue de la participation.

Sur ces vingt participants, cinq étaient des femmes. L'âge des participants était compris entre 37 et 59 ans ($\bar{x}^6 = 49,4$; $s_{n-1}^7 = 6,5$). Concernant leur expérience de la conduite, le nombre d'année depuis l'obtention du permis B était compris entre 18 et 40 années ($\bar{x} = 29,7$; $s_{n-1} = 7,1$) et leur propre estimation de leur expérience de conduite était comprise entre 17 et 40 années ($\bar{x} = 30,2$; $s_{n-1} = 6,9$). Concernant leur pratique de la conduite, leur estimation de la pratique annuelle de la conduite en voiture était comprise entre 6000 et 40000 kilomètres par an ($\bar{x} = 22700$; $s_{n-1} = 8285$). Huit participants portaient des lunettes et un participant portait des lentilles de contact pendant la conduite.

Véhicule instrumenté

Le véhicule instrumenté VOICIE (Figure 22) a été adapté spécifiquement pour la réalisation de cette expérience (cf. Tâche 2.1.a). Le véhicule était un véhicule léger à 5 portes à transmission manuelle (Clio III 1.5 dci 70 CV, Renault, France). Il était équipé de 4 caméras IP couleurs (F1015, Axis, Suède) dotées d'unités de commande spécifiques (F41, Axis, Suède), d'un microphone (T8353B, Axis, Suède), d'un récepteur GNSS⁸ (8012U, NaviLock, Allemagne), d'une centrale inertielle (3DM-GX1, MicroS-train, Etats-Unis), de deux télémètres lasers (capteurs LiDAR 2D) placés respectivement à l'avant (LMS511-10100 PRO, SICK, Allemagne) et à l'arrière (LMS111-10100, SICK, Allemagne), d'une carte d'acquisition CAN (PCAN-PCI Express monocanal, PEAK System Technik, Allemagne) et d'un PC dédié à l'acquisition synchrone des données issues des différents capteurs (EC322-CR4866, DFI, Taiwan). L'acquisition synchrone des données était réalisée à l'aide du logiciel RTMaps (version 4.3.2 32 bit, Intempora, France). Le diagramme d'acquisition conçu spécifiquement pour cette expérience permettait l'acquisition d'une vidéo quad (format MPEG-4, 25 fps ; Figure 23) permettant d'observer la scène routière à l'avant du véhicule et à l'arrière du véhicule, le conducteur vu de face et le tableau de bord côté conducteur et d'entendre les sons à l'intérieur du véhicule. Il permettait également l'acquisition de la position géo-référencée du véhicule (fréquence d'acquisition à 10 Hz), des actions de conduite (vitesse, utilisation des clignotants ; fréquence d'acquisition à 25 Hz), des mouvements de caisse par la centrale inertielle, des données issues de la saisie en temps réel par les expérimentateurs et des données LiDAR avec un horodatage commun.

⁶ \bar{x} : moyenne de l'échantillon.

⁷ s_{n-1} = écart-type de l'échantillon

⁸ GNSS : Global Navigation Satellite System soit un système de positionnement par satellite.

a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



Figure 22 : Instrumentation du véhicule VOICIE : a) les matériels d'acquisition et d'enregistrement des données installés dans le coffre ; b) la prise CAN ; c) la caméra vidéo placée derrière le rétroviseur central pour visualiser la scène routière avant d) la caméra placée à l'arrière pour visualiser la scène routière arrière; e) le LiDAR avant ; f) le LiDAR arrière placé sur un porte-vélo ; g) la caméra vidéo placée au centre du véhicule pour visualiser les interactions du conducteur avec le tableau de bord, le microphone miniature placé juste à côté de la caméra et les deux écrans pour interagir avec les ordinateurs placés dans le coffre et visualiser les données pendant l'acquisition et h) le récepteur GPS placé dans le feu arrière gauche.



Figure 23 : Enregistrement des vues des quatre caméras du véhicule. Les zones proches du véhicule instrumenté VOICIE sont floutées dès l'acquisition afin de ne pas permettre la lecture des plaques minéralogiques des véhicules circulants à proximité du VOICIE.

Circuit

Le circuit identifié durant l'été 2015 visait à inclure des sections de route bidirectionnelle représentatives des profils en travers du réseau routier départemental à l'échelle nationale. L'identification initiale du circuit réalisée par la DTerOuest à partir de la cartographie a été étudiée avec la DTerNC au cours d'une visite du réseau routier départemental des Côtes d'Armor. Le Conseil Départemental des Côtes d'Armor (CD22) a également été contacté afin de vérifier l'éventuelle existence d'une catégorisation des routes, à savoir l'attribution d'un profil en travers type aux différentes catégories de route (réseaux A et B). Il est apparu que le CD22 ne dispose pas d'une telle catégorisation mais qu'il avait une réflexion sur le type de marque sur chaussées associé à un profil en travers⁹. La carte de présentation du schéma directeur de signalisation horizontale a donc été utilisée en complément pour finaliser le circuit afin de le compléter avec des routes présentant des profils en travers étroits.

Le circuit retenu est une boucle de 75 km soit une durée de conduite d'environ 1h15 dont le point de départ et d'arrivée est le Département Laboratoire de Saint-Brieuc¹⁰ (Tableau 1 et Figure 24).

⁹ Le réseau routier départemental des Côtes d'Armor comprend deux catégories de réseau nommées réseau A et réseau B. Le réseau A comprend des routes à chaussées séparées et des routes bidirectionnelles à grande circulation. Concernant les marques de chaussée des routes bidirectionnelles du réseau A, il peut être présent en axe et en rive ou uniquement en axe. Le réseau B est constitué des routes bidirectionnelles permettant la circulation de pôle à pôle. Les marques de chaussées du réseau B sont plus variées. Il n'existe pas de profil en travers type associé (au sens de largeur de voie) aux deux réseaux. Par contre, le CD22 a une réflexion sur les marques de chaussée à associer au profil en travers. Alors que les marques d'axe sont recommandées à partir de largeurs de chaussée à 5,20 m, le CD22 préconise sur son réseau routier la présence d'un marquage d'axe à partir de largeurs de chaussée à 5,50 m. En-dessous de ces largeurs, ils utilisent des marques d'axe plus étroites ou des marques expérimentales de type "éclair". Enfin, certaines routes ne présentent aucune marque sur chaussée.

¹⁰ Coordonnées géographiques : Latitude = 48,500433°, Longitude = -2,74756°

Tableau 1 : Description des principales routes du circuit

Route	Points de repères	Coordonnées géographiques (WGS84) du point de repère de début (Latitude ; Longitude)	Type
RN12	PR56 - 278,73 m au PR61 + 322,15 m	48,505953° ; 2,733318°	Chaussées séparées
RD786	PR20 - 702,86 m au PR24 + 3378,81 m	48,546164° ; 2,785330°	Chaussées séparées puis Bidirectionnelle
RD4	PR20 + 1874,59 m au PR19 - 1685,52 m	48,601323° ; -2,835631°	Bidirectionnelle
RD121	PR00 + 4512,62 m au PR00 + 0,00 m	48,598613° ; -2,896063°	Bidirectionnelle
RD9	PR09 + 0,00 m au PR11 + 16,82 m	48,635251° ; -2,907753°	Bidirectionnelle
RD51	PR05 + 0,00 m au PR06 + 0,00m	48,644192° ; -2,877232°	Bidirectionnelle
RD786	PR32 - 1127,67 m au PR33 + 1304, 16 m	48,659237° ; -2,872621°	Bidirectionnelle
RD32	PR25 + 3718, 97 m au PR24 + 0,00 m	48,675344° ; -2,934806°	Bidirectionnelle
RD6	PR21 + 3624,62 m au PR16 + 103,54 m	48,633033° ; -2,976517°	Bidirectionnelle
RD706	PR0 + 0,00 m au PR0 + 2324,25 m	48,542927° ; -2,86314°	Bidirectionnelle
RN12	PR66 + 241,31 m au PR56 + 0, 00 m	48,531374° ; -2,855820°	Chaussées séparées

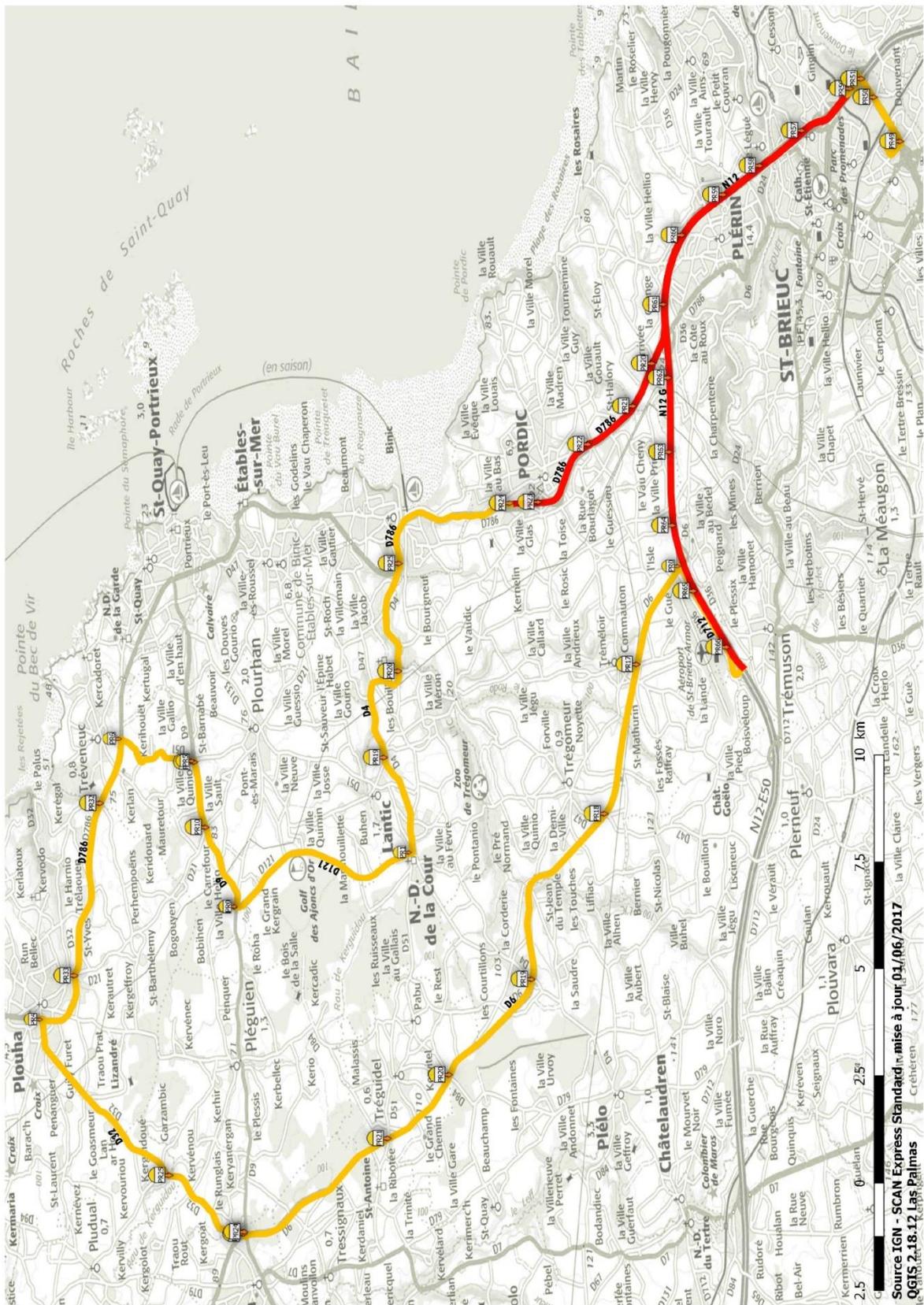


Figure 24 : Tracé de circuit parcouru par les participants. Les sections en rouge correspondent aux routes à chaussées séparées et les sections en orange correspondent aux routes bidirectionnelles.

Procédure

Les agents du DLRB (DTERouest, Cerema) ont été informés à partir d'octobre 2016 par courrier électronique de la tenue d'une prochaine expérience en véhicule instrumenté. Ils ont été invités à faire connaître leur souhait de participer sur leur temps de travail à cette expérience. Les personnes s'étant portées volontaires et ayant affirmé répondre aux critères de recrutement ont été invitées, par courrier électronique, à réserver un créneau sur le planning en ligne de l'expérience.

Le jour de l'expérience, à son arrivée, l'expérimentateur rappelait au participant de vérifier s'il possédait bien un permis de conduire B valide sur lui. Il lui était également demandé d'éteindre ou de mettre son téléphone en mode silencieux et sans vibreur.

Le déroulement de l'expérience était alors décrit au participant par l'expérimentateur à l'aide des informations portées sur le formulaire de consentement (Annexe 7.1). Puis le participant était invité à lire l'ensemble du formulaire de consentement seul avant d'éventuellement le remplir et le signer. Il devait ensuite remplir un court questionnaire électronique (Limesurvey, version 1.92) visant à recueillir des informations démographiques générales et vérifier que le participant remplissait bien les différents critères de recrutement (Annexe 7.2). Le participant était laissé seul pendant le remplissage du questionnaire mais il était invité à venir solliciter l'expérimentateur autant que de besoin. Enfin, le circuit lui était présenté à l'aide d'une carte papier (Annexe 7.3). Il lui était précisé que l'objectif n'était pas de mémoriser le parcours, mais uniquement de se faire une idée de celui-ci.

Il était ensuite conduit au véhicule instrumenté où il était invité à prendre autant de temps que de besoin pour positionner le fauteuil, les rétroviseurs et éventuellement le volant. Lorsque le participant et l'expérimentateur étaient prêts, l'expérimentateur rappelait le déroulement de la suite de l'expérience avant d'autoriser le participant à débiter le circuit. L'utilisation du limiteur ou du régulateur de vitesse n'était pas autorisée. Par contre, le participant était autorisé à écouter la radio ou sa musique favorite si c'était une pratique habituelle pour des circuits d'une telle durée. L'objectif était de favoriser l'immersion du conducteur en lui permettant d'exprimer un comportement habituel chez les conducteurs automobiles (Dibben & Williamson, 2007; European commission, 2015; Stutts et al., 2003). En effet, la majorité des conducteurs rapportent écouter de la musique pendant la conduite afin, selon eux, de favoriser leur relaxation et leur concentration (Dibben & Williamson, 2007). De plus, l'écoute de musique visait également à limiter le possible stress lié à la présence de l'expérimentateur (effet "blouse blanche") puisqu'il a été observé que pendant des situations de conduite très stressantes, les conducteurs écoutant leur musique favorite ressentent moins de stress que ceux n'étant pas autorisés à écouter de la musique ou la radio (Wiesenthal, Hennessy, & Totten, 2000). Concernant l'impact de l'écoute de la musique sur la performance de conduite, van der Zwaag et ses collaborateurs (2012) n'ont pas observé d'impact de l'écoute de la musique sur la position latérale et sa variabilité qui sont nos comportements d'intérêts dans cette étude. Le participant était encouragé à effectuer l'ensemble des réglages liés au poste de radio avant le départ du laboratoire. Onze participants ont écouté la radio et un participant a écouté sa musique favorite pendant la conduite¹¹.

Pendant la conduite, les informations de direction étaient données à l'oral essentiellement par un assistant de navigation GPS (nüvi 2589LMT, GARMIN, Etats-Unis). L'expérimentateur était amené ponctuellement à compléter les indications fournies par l'assistant de navigation. Pour le reste, les échanges verbaux entre le participant et l'expérimentateur étaient réduits au strict nécessaire pour le déroulement de l'expérience. L'expérimentateur saisissait, en temps réel dans l'enregistrement,

¹¹ 60% des participants à cette étude soit la majorité ont donc écouté de la musique pendant la conduite ce qui est comparable à la pratique observée chez les conducteurs (Dibben & Williamson, 2007; European commission, 2015; Stutts et al., 2003).

l'occurrence de différents événements visant à faciliter l'identification de différentes interactions avec le trafic et d'éventuels événements perturbateurs.

A la fin du parcours, le participant était invité à indiquer son niveau de familiarité sur l'ensemble du circuit à l'aide d'un fond de carte fourni (Annexe 7.4). La consigne était de ne pas colorier les tronçons de route nouveaux, à savoir les tronçons que le participant avait emprunté pour la première fois. Concernant les sections familières, il devait les colorier selon une échelle à 3 niveaux (très familière, moyennement familière et peu familière) indiquée sur le fond de carte et expliquée à l'oral en préambule.

Ensuite le participant était invité à indiquer à l'oral à l'expérimentateur quel était selon lui l'objectif de l'expérience à laquelle il venait de participer.

Puis le participant était invité à poser des questions sur l'expérience à laquelle il venait de participer. Exceptionnellement, puisque le participant était susceptible de participer à l'expérience de la tâche 2.2.b qui s'intéressera à des variables dépendantes et indépendantes similaires, l'expérimentateur ne répondait pas de manière précise sur les variables dépendantes et indépendantes d'intérêts et informait le participant qu'il serait en mesure de lui répondre plus précisément à l'issue de la deuxième étude, peu importe qu'il y participe ou non.

Puisque d'autres collègues étaient susceptibles de participer à cette expérience, il était demandé au participant de ne pas discuter de cette étude tant qu'elle n'était pas terminée. L'ensemble des participants a été informé de manière anonyme de la fin de cette étude pour mettre fin à cette consigne de discrétion.

Enfin, chaque participant était invité à remplir un formulaire concernant l'autorisation d'utilisation des images issues des enregistrements vidéos (Annexe 7.5) puis le dédommagement sous forme de tickets cadeaux lui était remis.

1.3. Acquisition des données comportementales et des données routières

Acquisition des données comportementales

Différentes données brutes d'intérêts issues des différents capteurs du véhicule instrumenté seront exploitées pour décrire la performance de la conduite des participants en termes de contrôle latéral et longitudinal ainsi que les interactions avec les autres usagers.

Données issues du BUS CAN

Le BUS CAN nous a permis d'obtenir la vitesse pratiquée, la vitesse affichée sur le tableau de bord, l'angle du volant et la valeur de l'odomètre. La valeur de l'odomètre, dont la réinitialisation a lieu automatiquement tous les 6553,5 m, a été utilisée pour calculer un point kilométrique continu sur l'ensemble du parcours (Figure 25). Ces données ont été obtenues à une fréquence de 25 Hz.

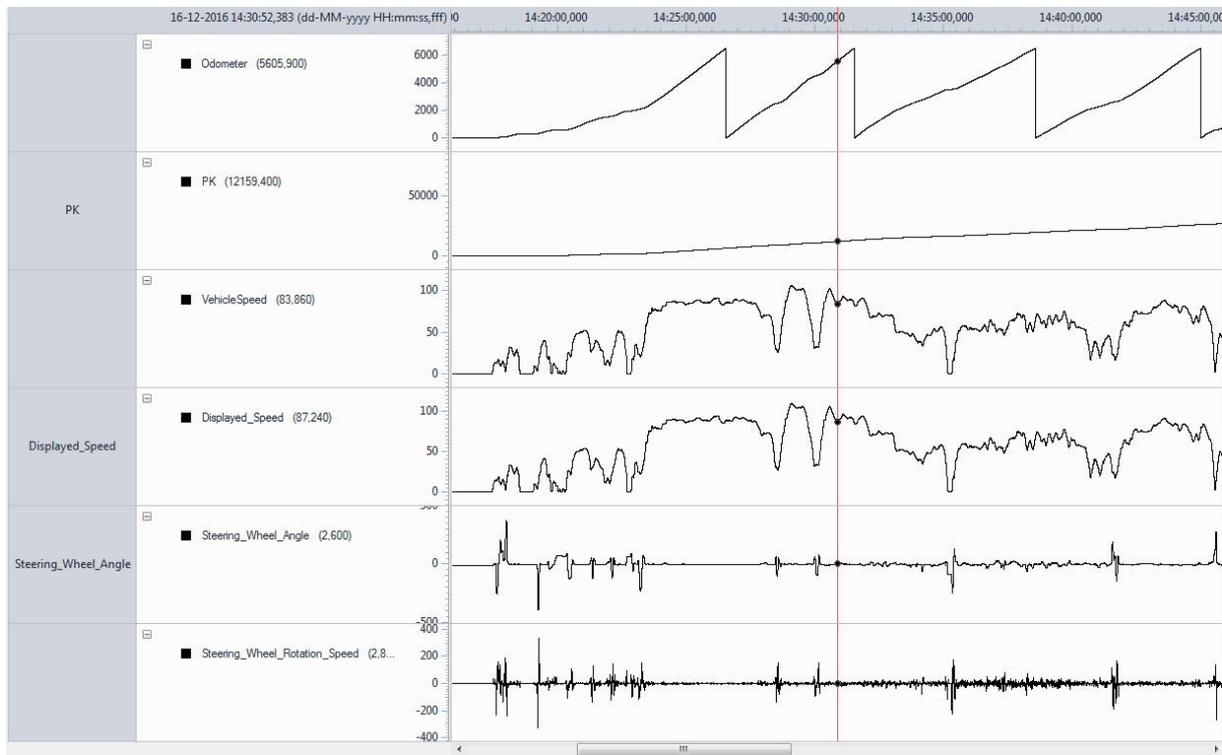


Figure 25 : Exemple de données issues du bus CAN visualisées dans le logiciel The Observer XT.

Données issues des LiDAR

Les LiDAR nous ont permis d'obtenir les distances des différents objets présents autour du véhicule instrumenté. Ces données brutes sont en cours d'exploitation par la DTerNC selon la méthode développée dans la tâche 2.1 (cf. § II à la page 9). Elles permettront de connaître la position latérale du véhicule instrumenté ainsi que les inter-distances frontales et latérales avec chacun des véhicules circulants devant le véhicule instrumenté à une fréquence de 25 Hz. Leur visualisation a également été utilisée pour consolider les interactions avec le trafic (Figure 29).

Données issues de l'antenne GPS

L'antenne GPS nous a permis d'obtenir la position géo-référencée en latitude et longitude du véhicule instrumenté à une fréquence de 10 Hz. Ces données ont été utilisées pour déterminer les entrées et sorties des zones potentielles d'analyse et des zones d'alignement et de virage afin d'extraire les données à analyser et caractériser le type de tracé en plan (alignement, virage à droite, virage à gauche).

Données issues de la saisie en temps réel par les expérimentateurs

Les différents événements saisis en temps réel par l'expérimentateur concernaient les croisements de véhicule, les dépassements du véhicule instrumenté par un autre véhicule, le début et la fin des manœuvres de dépassement réalisées par le participant, le début et la fin des situations de congestion et enfin l'occurrence de tout événement le long du parcours susceptible d'être à l'origine d'une modification de la position latérale.

Données issues du document de recueil du niveau de familiarité du circuit

L'indication de la familiarité du circuit fournie par le participant sur le fond cartographique papier (Annexe 7.4) nous a permis de coder le niveau de familiarité selon quatre niveaux :

- Non-familier : tronçons de route pour lesquels le participant a rapporté qu'ils étaient nouveaux puisqu'il les empruntait pour la première fois ;

- Un peu familier : tronçons de route pour lesquels le participant a rapporté qu'il s'agissait de tronçons sur lesquels il était déjà passé au moins une fois auparavant mais dont il dirait qu'il ne les fréquente pas beaucoup ;
- Moyennement familier : tronçons de route pour lesquels le participant a rapporté qu'il s'agissait de tronçons qu'il fréquentait assez régulièrement parce qu'ils sont proches de son domicile ou liés à des activités régulières ;
- Très familier : tronçons de route pour lesquels le participant a rapporté qu'il les fréquentait très régulièrement parce qu'il les emprunte lors de son trajet domicile - travail ou quasi quotidiennement dans le cadre d'autres trajets, notamment ceux liés à son activité professionnelle.

Acquisition des données routières

Afin d'identifier les zones géographiques potentielles d'analyse du comportement et de décrire les caractéristiques routières de ces zones en termes de profil en travers et de tracé en plan, des relevés d'images routières puis de la géométrie de la route ont été réalisés puis exploités.

Relevé et exploitation des images routières du circuit

Le relevé des images routières du circuit a été réalisé à l'aide de l'outil IRCAN Stéréovision le 17/05/2016 et le 06/09/2016 par le Département Laboratoire et CECP d'Angers (DLRCA, DTerOuest, Cerema). L'IRCAN Stéréovision est un Appareil à Grand Rendement (AGR) destiné à acquérir des paires d'images numériques en couleurs calibrées et géo-localisées de la route et de son environnement. Ce relevé IRCAN Stéréovision a été livré prêt à l'exploitation à l'aide du logiciel IREVE (version 2), respectivement le 01/06/2016 et le 16/09/2016. Le logiciel IREVE permet la visualisation et l'exploitation des scènes routières¹² grâce à des outils de positionnement longitudinal et latéral de certains objets routiers d'intérêts (panneau de signalisation, marques sur chaussées, équipement de la route, etc ...) et des outils de relevés des caractéristiques de la chaussée et de son environnement (mesures de longueurs, largeurs, surface et également hauteurs ; Annexe 7.6).

L'exploitation de ces images routières a consisté d'une part, à identifier des zones potentielles d'analyse et, d'autre part, à décrire ces zones.

Identification des zones potentielles d'analyse

L'identification des zones potentielles d'analyse a consisté à identifier les zones homogènes en termes de profil en travers (nombre de voie, marques sur chaussée) et de comportements prescrits (vitesse limite autorisée) situées entre les intersections. L'exclusion des intersections débutait 10 secondes avant que l'intersection soit visible et se terminait à la fin de l'intersection. Ce découpage visait à exclure, des zones d'analyse potentielles, des zones où les modifications de positionnement latéral pouvaient être liées à la présence de trafic en attente sur les voies secondaires à droite ou dans les tourne-à-gauche. Le temps de 10 secondes avant l'arrivée a été retenu du fait des travaux ayant montré que les conducteurs tendent à modifier leur position latérale dès dix secondes avant l'occurrence d'un croisement (Triggs, 1997). Sur les soixante-et-une zones homogènes identifiées, nous avons retenues les trente-deux zones de plus de 8 secondes sur des routes bidirectionnelles et de plus de 10 secondes sur les routes à chaussées séparées (Tableau 2 et Figure 26). Les coordonnées géographiques des extrémités de ces trente-deux zones ont été extraites à l'aide du logiciel IREVE.

Description des zones potentielles d'analyse

Pour chacune des 32 zones, nous avons utilisé le logiciel IREVE pour identifier la vitesse limite autorisée (VLA), les largeurs des voies et des bandes dérasées et, enfin, les marques sur chaussée.

¹² Le logiciel IREVE est un logiciel LPC® pour lequel des informations sont disponibles sur le site internet suivant : <http://ireve.imagerieroutiere.fr>

La chaussée se définit comme l'espace de route revêtue compris entre les bords des marques de rive internes à la route (Figures 1a et b). En l'absence de marques de rive, elle se définit comme l'espace de route revêtue et correspond donc à l'ensemble de la largeur roulable (Figures 1b et c).

La voie correspond à une demi-chaussée. Elle est donc comprise entre les bords des marques de rive internes à la route et le milieu de la chaussée. En présence de marquage d'axe, la largeur de voie inclut donc la moitié de celui-ci. Par contre, elle n'inclut pas le marquage de rive s'il existe.

La bande dérasée revêtue correspond à l'espace compris entre le bord de marques de rive interne à la route et l'extrémité de route revêtue. Elle comprend donc la marque de rive et éventuellement une sur-largeur revêtue. En l'absence de marques de rive, il n'y a pas de bande dérasée revêtue (Figures 1b et c).

Tableau 2 : Caractéristiques des 32 zones potentielles d'analyse du comportement des conducteurs sur routes à deux chaussées séparées et sur routes à une chaussée bidirectionnelle identifiées le long du circuit.

Zone	Route	Type	VLA	Largeur de voie	Largeur de BDD	Marquage	Longueur estimée	Durée estimée
N012-G	N012	2x2	90	3,50	1,50	Rive+Axe	606	24,26
D786-A	D786	2x2	110	3,50	0,40	Rive+Axe	1274	41,71
D786-B	D786	2x2	110	3,50	0,50	Rive+Axe	619	20,25
D786-C	D786	2x2	90	3,50	0,50	Rive+Axe	377	15,06
D786-D	D786	bidirectionnelle	90	3,35	0,40	Rive+Axe	347	13,86
D786-E	D786	bidirectionnelle	70	3,35	0,40	Rive+Axe	454	23,32
D004-E	D004	bidirectionnelle	70	2,50	0,00	Axe	684	35,18
D004-F	D004	bidirectionnelle	70	2,50	0,00	Axe	310	15,93
D121-C	D121	bidirectionnelle	90	3,00	0,00	Axe	1059	42,34
D121-E	D121	bidirectionnelle	90	3,00	0,00	Axe	250	10,00
D009-A	D009	bidirectionnelle	50	3,00	0,35	Rive+Axe	461	33,18
D009-B	D009	bidirectionnelle	90	3,00	0,35	Rive+Axe	256	10,24
D051-A	D051	bidirectionnelle	70	2,00	0,00	Aucun	313	16,11
D786-F	D786	bidirectionnelle	90	3,50	0,30	Rive+Axe	620	24,81
D032-D	D032	bidirectionnelle	90	3,10	0,00	Axe	461	18,44
D032-E	D032	bidirectionnelle	90	3,10	0,00	Axe	250	9,98
D032-F	D032	bidirectionnelle	90	3,10	0,00	Axe	207	8,29
D006-A	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	598	23,93
D006-B	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	624	24,97
D006-C	D006	bidirectionnelle	90	2,80	0,35	Rive+Axe	559	22,36
D006-D	D006	bidirectionnelle	90	2,90	0,40	Rive+Axe	720	28,79
D006-E	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	1114	44,55
D006-G	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	320	12,81
D006-H	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	428	17,12
D006-I	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	1228	49,13
D006-K	D006	bidirectionnelle	90	3,50	0,40	Rive+Axe	416	16,65
D706-A	D706	bidirectionnelle	90	3,50	0,00	Axe	764	30,58
N012-I	N012	2x2	110	3,50	1,50	Rive+Axe	1542	50,45
N012-J	N012	2x2	110	3,50	1,30	Rive+Axe	1897	62,08
N012-K	N012	2x2	90	3,50	2,14	Rive+Axe	327	13,09
N012-L	N012	2x2	90	3,50	1,80	Rive+Axe	568	22,70
N012-N	N012	2x2	90	3,50	0,70	Rive+Axe	251	10,04

Relevé de la géométrie de la route du circuit

Le relevé de la géométrie de la route de l'ensemble du circuit a été réalisé à l'aide de l'outil MOGEO¹³ le 6 septembre 2016 par le Département Laboratoire et CECP d'Angers (DLRCA, DTerOuest, Cerema) avec l'appui du Département Laboratoire de Saint-Brieuc¹⁴. MOGEO est également un AGR mais destiné à la détermination des valeurs de pente, de dévers et de rayon de courbure des chaussées parcourues. Ce relevé MOGEO a été livré traité et prêt à sa visualisation à l'aide du logiciel MOGEO le 16 septembre 2016.

L'exploitation de ces données visait à identifier uniquement les changements de tracé en plan donc seules les mesures de rayon de courbure ont été exploitées. La valeur seuil de rayon de courbure au-delà de laquelle le tracé est assimilé à un alignement droit a été fixé par le DLRCA pour ce relevé à 2000 m¹⁵. Concrètement, cela signifie que les zones pour lesquelles le rayon de courbure était supérieur ou égal à 2000 m sont identifiées comme des alignements dans le relevé MOGEO alors que les zones pour lesquelles le rayon de courbure était inférieur à 2000 m sont identifiées comme des virages. Les descripteurs des courbes et d'alignement fournis dans le relevé nous ont permis d'identifier trois types de zones en termes de tracé en plan, à savoir les alignements, les virages à droite et les virages à gauche. Pour chaque zone de tracé en plan, nous disposions de sa longueur totale en mètres. Enfin, pour chaque virage, nous disposions de la valeur du rayon moyen du virage en mètres (Annexe 7.7). Les coordonnées géographiques de ces trois types de zones ont été extraites des relevés MOGEO soit un total de 98 zones.

Cartographie et horodatage des entrées et sorties des zones d'analyses potentielles et du tracé en plan

Les coordonnées géographiques des limites des 32 zones potentielles d'analyse et des 98 zones d'alignement et de virages à gauche ou à droite ont été exploitées à l'aide du logiciel TrackLab (version 1.3, Noldus Information Technology, Pays-Bas). Deux cartes distinctes ont été constituées respectivement pour les 32 zones d'analyse potentielles et les 98 zones d'alignement et de virages à gauche ou à droite (Figures 27a et b). L'import des traces GPS, de chaque participant, nous a permis d'extraire pour chacun l'horodatage des entrées et sorties des différentes zones (Figures 27c et f). Une attention particulière a été prise dans le nommage des zones afin de faciliter la fusion des données routières et comportementales ultérieures dans le logiciel The Observer XT (version 13, Noldus Information Technology, Pays-Bas).

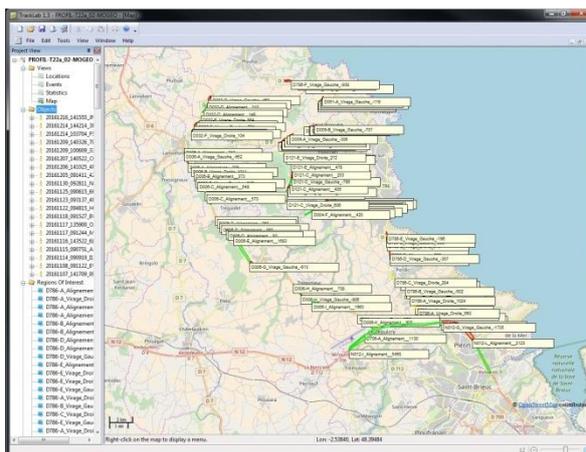
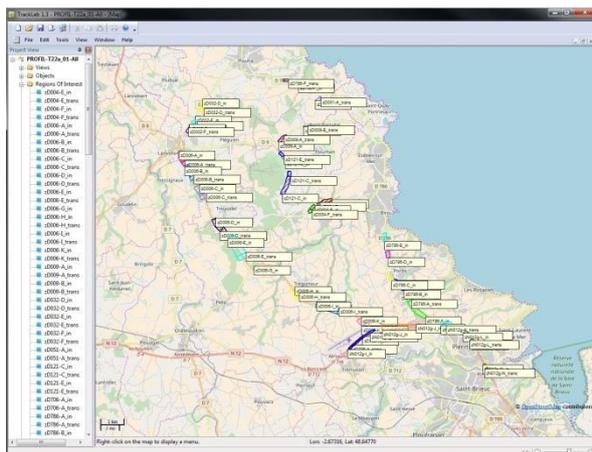
¹³ Module de relevé des caractéristiques Géométriques des tracés routiers.

¹⁴ Il est à noter, pour des expériences ultérieures, que les relevés IREVE et MOGEO peuvent être réalisés conjointement.

¹⁵ La méthode d'essai du relevé de la géométrie des tracés routiers indique que " La valeur de R0 est paramétrable en fonction du type de voie. Usuellement, on retient la valeur de 600 m sauf pour des itinéraires à caractéristiques confortables tels que les autoroutes." (Petit et al., 2011). Dans notre cas, le circuit comportait des routes bidirectionnelles et à chaussées séparées, c'est donc le seuil de 2000 m qui a été retenu. De plus, il permettait d'avoir une connaissance plus fine du tracé en plan sur les routes bidirectionnelles.

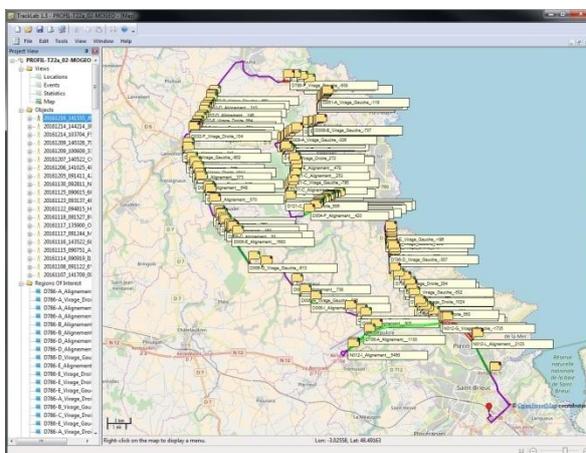
a) Cartographie des zones d'analyse potentielles

b) Cartographie du tracé en plan



c)

d)



e)

f)

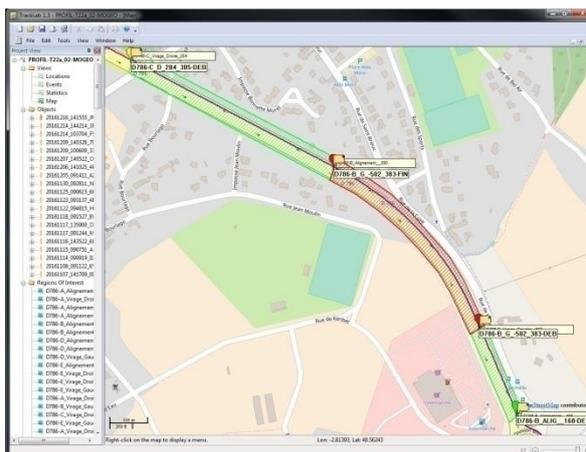
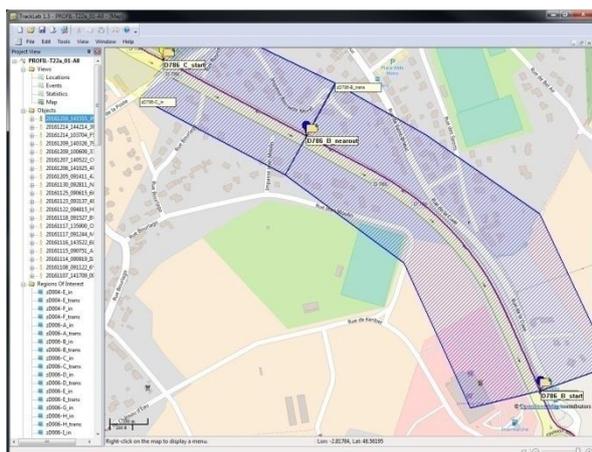


Figure 27 : Visualisation de la cartographie a) des zones d'analyse potentielles et b) du tracé en plan. L'import de la trace du participant sur ce fond cartographique permettait de récupérer l'horodatage des entrées et sorties c) des zones d'analyse potentielles et d) du tracé en plan. Sur les zooms e) et f), l'horodatage de l'entrée dans une zone est matérialisé par une bulle contenant un point vert et celui de la sortie par une bulle contenant un point rouge.

1.4. Constitution de la base de données et extraction des données

L'ensemble des données enregistrées et post-traitées ont été fusionnées à l'aide du logiciel The Observer XT (version 13, Noldus Information Technology, Pays-Bas). Ce logiciel qui se veut d'abord un logiciel d'enregistrement, de gestion et d'analyse de données comportementales issues d'observation en direct ou à partir de vidéos permet également la visualisation synchrone de ces données d'observation avec des données externes, par exemple des données physiologiques (fréquence cardiaque, fréquence respiratoire). Dans notre cas, nous avons utilisé cette fonctionnalité du logiciel pour visualiser, de manière synchrone, les événements saisis par l'expérimentateur en temps réel, les vidéos des caméras, les représentations des nuages de point générés par les capteurs LiDAR, les données issues du bus CAN, les comportements d'entrée et de sorties des zones d'analyse et des zones du tracé en plan issus de TrackLab (Figure 28).

Les événements saisis par l'expérimentateur en temps réel ont ensuite été consolidés, grâce aux fonctionnalités du logiciel The Observer XT, dans les 32 zones d'analyse potentielles. Pour le croisement de véhicule et pour le dépassement du véhicule instrumenté par un autre véhicule, nous avons utilisé les représentations générées par le capteur LiDAR avant pour corriger l'horodatage de l'occurrence de ces deux événements. Concernant le croisement de véhicule, nous avons identifié le temps auquel le capteur LiDAR avant perçoit pour la dernière fois l'avant du véhicule croisé (Figure 29a). Concernant le dépassement par un autre véhicule, nous avons identifié le temps auquel le lidar avant perçoit pour la première fois le véhicule circulant à côté du véhicule instrumenté (Figure 29b). Pour ces deux événements, nous avons précisé le type de véhicule croisé ou en train de dépasser le véhicule instrumenté selon la typologie suivante :

- véhicule léger : voitures particulières, camping-car, utilitaire, camion benne $\leq 3,5$ T ;
- poids-lourds : camion $\geq 3,5$ T, autocar, autobus, engins agricoles, engins de travaux publics ;
- deux-roues ;
- deux-roues motorisés : cyclomoteur, motocyclette, trois roues, quad.

Concernant les bouchons, l'occurrence dans l'une des 32 zones d'analyse potentielles a été vérifiées *a posteriori* afin de les exclure de l'analyse. Concernant les dépassements, leur existence a simplement été vérifiée en post-traitement afin de pouvoir exclure de l'analyse les données liées à des manœuvres de dépassement.

Afin de pouvoir identifier si les données comportementales analysées concernent un véhicule libre ou non, la présence d'un véhicule devant le véhicule instrumenté a été codée par un expérimentateur à partir de la vue de la caméra filmant la scène routière avant et selon la grille suivante :

- Véhicule libre : aucun véhicule circulant devant le véhicule du participant et dans le même sens que le participant,
- Véhicule contraint : un ou plusieurs véhicules circulant devant le véhicule du participant et dans le même sens que le participant.

Afin de pouvoir identifier si les données comportementales analysées concernent une section de route familière ou non du participant, le niveau de familiarité de l'ensemble du circuit a été codé par un expérimentateur à partir des données issues du document de recueil du niveau de familiarité.

a) Identification des croisements d'un véhicule

b) Identification des dépassement par un autre véhicule



Figure 29 : Utilisation des vues des données des capteurs LiDAR pour identifier l'occurrence a) des croisements et b) des dépassements par un autre véhicule. Les images encadrées correspondent aux occurrences.

Puis cette base de données a été enrichie avec les données routières afin de pouvoir extraire et filtrer les données. Chacune des 32 zones d'analyse a été décrites à l'aide des caractéristiques suivantes :

- Type de route : chaussées séparées ; bidirectionnelle
- Vitesse limite autorisée : 50, 70, 90, 110 km/h
- Largeur de la voie : 2,00 ; 2,50 ; 2,80 ; 2,90 ; 3,00 ; 3,10 ; 3,35 ; 3,50 m
- Largeur de la bande dérasée de droite revêtue : 0,00 ; 0,30 ; 0,35 ; 0,40 ; 0,50 ; 0,70 ; 1,30 ; 1,50 ; 1,80 ; 2,14 m
- Marquage : aucun ; axe ; axe et rive.

Concernant le tracé en plan, chaque zone a été décrite en termes d'alignement ou de virage afin de pouvoir extraire parmi les 32 zones d'analyse uniquement les sections de route d'alignement droit.

Le croisement entre les 32 zones d'analyse potentielles et le tracé en plan nous a permis d'identifier sur le circuit 33 zones potentielles d'analyse dont 25 zones sur routes bidirectionnelles. Parmi ces 25 zones, nous avons retenues pour l'analyse les 19 zones (Tableau 3) dont la longueur est supérieure ou égale à 100 mètres.

Tableau 3 : Description des 19 zones d'alignement droit sur routes bidirectionnelles retenues pour étudier la trajectoire des conducteurs en situation réelle de conduite.

Identifiant	Zone	Route	VLA	Largeur de voie	Classe de largeur de voie	Largeur de BDD	Classe de largeur de BDD	Marquage
11	D786-D	D786	90	3,35	3.00 < V < 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
19	D004-E	D004	70	2,50	V < 3.00	0,00	BDD = 0	Axe
25	D004-F	D004	70	2,50	V < 3.00	0,00	BDD = 0	Axe
28	D121-C	D121	90	3,00	V = 3.00	0,00	BDD = 0	Axe
30	D121-C	D121	90	3,00	V = 3.00	0,00	BDD = 0	Axe
32	D121-E	D121	90	3,00	V = 3.00	0,00	BDD = 0	Axe
42	D051-A	D051	70	2,00	V < 3.00	0,00	BDD = 0	Aucun
46	D786-F	D786	90	3,50	V = 3.50	0,30	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
51	D032-D	D032	90	3,10	3.00 < V < 3.50	0,00	BDD = 0	Axe
57	D006-B	D006	90	3,50	V = 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
59	D006-B	D006	90	3,50	V = 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
60	D006-C	D006	90	2,80	V < 3.00	0,35	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
63	D006-D	D006	90	2,90	V < 3.00	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
65	D006-D	D006	90	2,90	V < 3.00	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
66	D006-E	D006	90	3,50	V = 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
68	D006-H	D006	90	3,50	V = 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
69	D006-I	D006	90	3,50	V = 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
71	D006-K	D006	90	3,50	V = 3.50	0,40	0 < BDD ≤ 0.40	Axe+Rive
72	D706-A	D706	90	3,50	V = 3.50	0,00	BDD = 0	Axe

Afin de pouvoir comparer les comportements issus de cette étude avec les comportements observés dans la tâche 3 du projet PROFIL, nous avons classifié les largeurs de voie selon 4 niveaux ($V = 3,50$ m ; $3,00 < V < 3,50$ m ; $V = 3,00$ m ; $V < 3,00$ m) comparables avec celles étudiées sur le simulateur de conduite (3,50 m ; 3,25 m ; 3,00 m ; 2,75 m ; Mecheri et al., 2017). Concernant la largeur de bande dérasée revêtue, les largeurs observées sur le terrain sont moins variées que celles étudiées en simulateur de conduite, du fait de l'absence de bandes multifonctionnelles sur le circuit, par contre, le circuit inclut des routes sans bande dérasée revêtue ce qui n'est pas strictement le cas dans la tâche 3. En effet, dans l'étude en simulateur de conduite, Mecheri et al. (2017) ont étudié 4 classes de largeur de bande dérasée (0,00 m ; 0,25 m ; 0,50 m ; 0,75 m) mais ces largeurs de bande dérasée n'incluent pas la largeur du marquage de rive de 0,15 m. Dans le sens strict de la bande dérasée, ils ont en fait étudié des largeurs de bande revêtue de 0,15 m ; 0,40 m ; 0,65 m et 0,90 m. En ce qui nous concerne, nous avons donc décidé de regrouper les largeurs de bande dérasée selon deux niveaux ($BDD = 0$; $0,00 < BDD \leq 0,40$ m) dont seul le dernier est comparable à l'un des niveaux de largeur de bande dérasée de l'étude de Mecheri et al. (2017).

1.5. Mesures

Position latérale

La position latérale par rapport au centre de la chaussée et par rapport au centre de la voie seront étudiées. Afin de faciliter les comparaisons avec les comportements observés sur simulateur de conduite dans la tâche 3 du projet, les mesures retenues seront identiques à celles utilisées dans cette tâche.

La position latérale par rapport au centre de la chaussée correspond à la distance en centimètres entre le centre du véhicule instrumenté et le centre de la chaussée.

La position latérale par rapport au centre de la voie correspond à la distance en centimètres entre le centre du véhicule instrumenté et le centre de la voie.

Variabilité de la position latérale

La position latérale par rapport au centre de la chaussée sera utilisée pour calculer la variabilité de la position latérale. Il s'agit de l'écart-type d'échantillon de la position latérale.

Vitesse

La vitesse correspond à la vitesse affichée sur le tableau de bord du véhicule instrumenté en km/h.

Variabilité de l'angle du volant

L'angle du volant qui correspond à l'angle appliqué par le conducteur au volant en degrés sera utilisé pour calculer la variabilité de l'angle du volant. Il s'agit de l'écart-type d'échantillon de l'angle du volant.

Niveau de trafic

Afin de tester l'effet du trafic sur les comportements précédents, le trafic rencontré par chaque participant dans chaque zone sera estimé en véhicule par seconde (véh. /s) à partir du nombre de véhicules croisés dans la zone et du temps passé par le conducteur dans la zone.

1.6. Analyses envisagées

Pour chacun des 20 sujets et chacune des 19 zones, la position latérale, la variabilité de la position latérale, la vitesse et la variabilité de l'angle du volant seront estimées. Les effets de la largeur de voie, de la largeur de la bande dérasée et du trafic seront analysés à l'aide d'une analyse de variance pour données répétées.

L'effet du type de marquage ne sera pas testé car il est largement confondu avec la largeur de la bande dérasée. En effet, les 8 zones pour laquelle la largeur de la bande dérasée est nulle correspondent aux 7 zones avec du marquage en axe et la zone sans aucun marquage alors que les 11 zones pour laquelle la largeur de bande dérasée est comprise entre 0,30 et 0,40 m présentent toutes un marquage en axe et en rive.

2. Comparaison des trajectoires en situation de conduite réelle *versus* virtuelle (Tâche 2.2.b)

2.1. Introduction

Afin de tester l'impact des caractéristiques du profil en travers sur la trajectoire des usagers, il a été proposé dans la tâche 3 du projet PROFIL de réaliser des études à l'aide d'un simulateur de conduite de l'IFSTTAR. Les simulateurs de conduite sont des dispositifs expérimentaux de mesure du comportement des conducteurs utilisées pour répondre à des questions de recherche très diverses (Caird & Horrey, 2011) allant de la compréhension des capacités des conducteurs, aux causes et conséquences des déficiences des conducteurs (fatigue, distraction,...), ou encore à l'impact de différentes pathologies et de traitements médicaux sur la performance de la conduite, au développement et à l'évaluation de l'impact de la signalisation routière, des aides à la conduite embarquées ou coopératives, en passant par la question de l'impact de la géométrie de la route qui est la question qui nous concerne dans le projet PROFIL.

Les principaux avantages de l'utilisation du simulateur de conduite par rapport à des observations en situation réelle de conduite concernent la possibilité de tester des situations difficile à reproduire en situation réelle, de tester des configurations potentiellement inductrices de comportements risqués sans mettre le conducteur en danger, le contrôle des variables, la répétition des événements et des scénarios et la facilité du recueil des comportements d'intérêts (Caird & Horrey, 2011; Kaptein, Theeuwes, & Van Der Horst, 1996).

Le terme simulateur de conduite recouvre des outils de mesure du comportement extrêmement variés allant d'un simple PC avec un écran et un volant du même style que ceux utilisés pour les jeux vidéos à une cabine complète de véhicule sur une plate-forme mobile à six degrés de liberté avec un champ de vision horizontal de près de 360° (Jamson, 2011). Peu importe la complexité du simulateur de conduite, la question centrale concerne la fiabilité des comportements observés dans le simulateur. Dans la littérature sur les simulateurs de conduite, cette question est abordée au travers des notions de validité (ou fidélité) physique et de validité comportementale (Blaauw, 1982; Reimer, D'Ambrosio, Coughlin, Kafrissen, & Biederman, 2006; Shechtman, 2010). La validité ou fidélité physique du simulateur de conduite fait référence à la similitude des expériences sensorielles, perceptives voire psychologiques vécues dans le simulateur avec celles vécues dans la réalité (Allen, Rosenthal, & Cook, 2011; Blaauw, 1982) et intéresse avant tout les concepteurs de simulateur de conduite (Shechtman, 2010). La validité comportementale ou éthologique fait référence à la correspondance entre les comportements observés en situation réelle et ceux observés dans le simulateur de conduite (Blaauw, 1982). Le plus souvent, et c'est le cas lorsqu'on s'intéresse à l'impact de la géométrie de la route sur le comportement du conducteur, c'est la validité comportementale qui est la plus importante. La validité des mesures de comportement obtenues en simulateur de conduite est une question récurrente (Caird & Horrey, 2011) qui se traduit par l'existence de plusieurs revues sur la validité comportementale des simulateurs de conduite (Blaauw, 1982; E. Blana, 1996; Godley, Triggs, & Fildes, 2002; Kaptein et al., 1996; Mullen, Charlton, Devlin, & Bédard, 2011; Shechtman, 2010).

L'étude de la validité comportementale consiste à vérifier la correspondance entre les comportements observés en situation réelle de conduite avec ceux observés dans le simulateur de conduite dont on veut vérifier la validité (Blaauw, 1982; Kaptein et al., 1996). Contrairement à la validité physique, il ne s'agit pas de vérifier s'il existe une correspondance physique entre l'environnement réel dans lequel s'exprime le comportement et l'environnement simulé mais si les comportements exprimés dans l'environnement réel et simulé sont similaires (Blaauw, 1982). Cette distinction est importante puisqu'il est tout à fait possible qu'un environnement physique soit simulé de façon parcelaire mais reproduise les comportements liés à la question de recherche (Kaptein et al., 1996). Par exemple, les études sur l'impact de la fatigue sur le comportement de conduite peuvent se contenter d'un environnement visuel simulé très simple. On voit donc que cette validité comportementale du

simulateur de conduite doit se définir en fonction de la question de recherche pour laquelle le simulateur est utilisé (Kaptein et al., 1996). Puisque le projet PROFIL porte sur l'impact de la géométrie de la route sur la trajectoire, l'objectif de cette étude est de savoir si le simulateur de conduite utilisé dans la tâche 3 est un outil expérimental de mesure de la position latérale et de la vitesse valide. Cela suppose de s'interroger sur, d'une part la méthodologie de la mesure de la validité d'un simulateur de conduite et, d'autre part, sur les caractéristiques du simulateur de conduite susceptibles d'offrir les informations perceptives nécessaires à la réalisation d'une tâche de contrôle du suivi de trajectoire.

Méthodologie de la mesure de la validité d'un simulateur de conduite

On distingue deux niveaux de validité comportementale, à savoir la validité relative et la validité absolue (Blaauw, 1982; Kaptein et al., 1996). L'étude de la validité relative suppose d'observer les différences de comportement induites entre deux situations expérimentales en simulateur et de vérifier si les différences entre ces deux situations expérimentales sont identiques en situation réelle. Si les différences observées entre les deux situations expérimentales sont du même ordre dans le simulateur et dans la situation réelle, on parle de validité relative, si en plus les comportements sont similaires en termes quantitatifs, on parle de validité absolue (Blaauw, 1982). Néanmoins, il est admis que, pour qu'un simulateur de conduite soit un outil expérimental utile, seule la validité relative soit requise (Törnros, 1998).

De nombreuses études se sont intéressées à la validité comportementale des simulateurs de conduite. Les études classiques consistent à comparer les comportements observés en situation réelle à ceux observés dans le simulateur de conduite sur une section de route identique et lors de tâches similaires (Mullen et al., 2011; Shechtman, 2010). La vitesse est sans conteste le comportement le plus largement analysé dans telles études de validation (Branzi, Domenichini, & La Torre, 2017; Mullen et al., 2011). Ces études ont porté sur des situations de conduite aussi variées que la présence de contre-mesures à la vitesse (Godley et al., 2002; Riemersma, van der Horst, Hoekstra, Alink, & Otten, 1990), la réalisation de tâches secondaires (Reed & Green, 1999; Santos, Merat, Mouta, Brookhuis, & de Waard, 2005), la conduite dans un tunnel (Cao, Wang, & Luo, 2015; Törnros, 1998), sur route urbaine (Klee, Bauer, Radwan, & Al-Deek, 1999), sur route interurbaine (Bella, 2008; Blaauw, 1982; Santos et al., 2005), à l'approche d'une intersection ou d'un virage (Bella, 2008; Bittner, Simsek, Levi-son, & Campbell, 2002; Boer, Girshick, Yamamura, & Kuge, 2000; Godley et al., 2002; Yan, Abdel-Aty, Radwan, Wang, & Chilakapati, 2008), sur des zones de chantiers (Bella, 2005; Bham, Leu, Vallati, & Mathur, 2014; McAvoy, Schattler, & Datta, 2007). La plupart des études sont en faveur d'une validité relative de la mesure de la vitesse en simulateur de conduite et plus rarement d'une validité absolue (Knapper, Christoph, Hagenzieker, & Brookhuis, 2015; Mullen et al., 2011). Comme le souligne Knapper et al. (2015), certaines études suggèrent que lorsque les manœuvres requises sont complexes, les conducteurs tendent à rouler moins vite en simulateur qu'en situation réelle alors que lorsque les manœuvres sont simples, les conducteurs roulent plus vite dans le simulateur de conduite que sur la route réelle (Bella, 2008; Bham et al., 2014; Boer et al., 2000). Il est à noter que la seule étude réalisée sur la conduite en situation nocturne suggère que le simulateur de conduite n'est pas un outil expérimental valide pour la mesure de la vitesse dans une telle situation (McAvoy et al., 2007). Moins d'études se sont intéressées à la validité de la mesure de la position latérale (Branzi et al., 2017). Ces études ont porté sur la conduite sur des routes urbaines (Wade & Hammond, 1998), des routes interurbaines (Auberlet et al., 2012; Blaauw, 1982; Blana & Golias, 2002; Rosey et al., 2009), dans un tunnel (Törnros, 1998), la réalisation de tâches secondaires (Reed & Green, 1999). A nouveau, la plupart des études sont en faveur d'une validité relative de la position latérale mais pas d'une validité absolue. Si Blaauw (1982) observe que les conducteurs roulent plus près du centre de la route dans le simulateur de conduite que sur la route réelle, d'autres études montrent que les conducteurs roulent plus éloignés du centre de la route dans le simulateur de conduite que sur route réelle (Blana & Golias, 2002; Wade & Hammond, 1998).

Il n'existe pas de méthode standard de validation des simulateurs de conduite mais la méthode de mesure de validité reconnue comme la plus objective est une méthode intra-sujet qui consiste à mesurer la corrélation entre les comportements mesurés lors d'un test dans le simulateur de conduite à valider et un test en situation réelle de conduite sur un même pool de conducteur et dans un délai très court (Shechtman, 2010). La situation réelle de conduite de référence devrait être celle d'une personne conduisant son propre véhicule en l'absence d'un expérimentateur mais c'est la conduite dans un véhicule instrumenté qui est jusqu'à présent utilisé pour des raisons d'acquisition de données (Shechtman, 2010).

Cette méthode suppose de disposer, sur un même site géographique d'un véhicule instrumenté, d'un simulateur de conduite ainsi qu'une maquette 3D temps réel reproduisant la section de route réelle. Puisqu'au démarrage du projet, le consortium du projet disposait d'une telle maquette pour une section du réseau routier des Côtes d'Armor et que la DTer Ouest disposait d'un véhicule instrumenté et d'un simulateur de conduite, il a été proposé d'envisager un protocole consistant à combiner la méthode classique intra-sujet uniquement réalisable au sein de la DTerOuest avec une méthode inter-sujet visant à comparer les données issues du véhicule instrumenté sur route réelle avec celles obtenues dans le simulateur de conduite du LEPSiS sur la maquette 3D reproduisant la route réelle.

Fidélité physique du simulateur de conduite et contrôle de la trajectoire

Au delà de la question de la validité comportementale du simulateur de conduite pour mesurer le comportement d'intérêt, on peut s'interroger sur le rôle de la perception humaine dans la tâche de conduite à analyser et les caractéristiques du simulateur qui peuvent être optimisées pour permettre de simuler ces perceptions (Jamson, 2011). En ce qui nous concerne, la question porte donc sur les indices perceptifs utilisés pour le contrôle de la trajectoire et plus particulièrement du contrôle latérale en conduite automobile en situation naturelle de conduite et sur la possibilité d'optimiser certaines caractéristiques des simulateurs de conduite pour recréer ces indices perceptifs.

Dans un simulateur de conduite, les indices perceptifs pouvant être utiles à la tâche de conduite simulée proviennent de trois grands systèmes de restitution que sont le système de restitution visuelle, le système de restitution du mouvement et du retour d'effort et le système de restitution sonore (Jamson, 2011). Le simulateur de conduite de l'IFSTTAR utilisé dans la tâche 3, tout comme le simulateur de conduite du Cerema utilisé dans cette étude sur la validité de la mesure de la position latérale sont des simulateurs à base fixe. De ce fait, nous nous concentrerons sur les caractéristiques liées à la perception visuelle.

Donges (1978) a proposé un modèle du contrôle latéral de la trajectoire basé sur deux processus visuels distincts, l'un dit d'anticipation puisqu'il concerne la future trajectoire et un autre dit de stabilisation puisqu'il concerne la position actuelle dans la voie. Ces processus visuelles reposent notamment sur la perception de la direction et la perception de la position latérale dans la voie. Concernant les informations visuelles utilisées pour réaliser ce contrôle latéral de la trajectoire, Wilkie et Wann (2002) ont montré que les observateurs utiliseraient trois sources d'informations qui sont les mouvements du regard vers la cible (mouvements des yeux et de la tête), la direction visuelle ou direction égocentré de la cible qui correspond à la direction d'un objet dans l'espace par rapport à l'observateur (Rushton, Harris, Lloyd, & Wann, 1998) et enfin le flux rétinien lié à la fois au mouvement de l'observateur et aux mouvements du regard. Ces auteurs suggèrent également que les informations liées à la direction visuelle dominent les informations liées au flux rétinien quand ces deux types d'informations sont présentes. De ce fait, si les informations de la direction visuelle sont exactes mais que les informations du flux rétinien sont biaisées, les erreurs de suivi de la trajectoire sont faibles. Au contraire, si les informations du flux rétinien sont exactes mais que les informations de direction visuelles sont biaisées alors les erreurs de suivi de trajectoire sont importantes.

Dans un simulateur de conduite, les mouvements du regard peuvent être utilisés comme source d'information puisque l'environnement visuel est modifié en fonction des déplacements du conducteur.

Concernant le flux rétinien, il est lié à la qualité des textures utilisées pour reproduire la route et son environnement et il est donc préférable d'utiliser des surfaces très texturées (Wilkie & Wann, 2003). Concernant la direction visuelle, Wilkie et Wann (2002; 2003) suggèrent que l'habitacle du véhicule puisse fournir une référence de l'axe du corps utile à la définition de la direction égocentrée. On pourrait également proposer que l'habitacle du véhicule soit pris comme une référence pour la définition de la position dans la voie. En effet, la perception du corps propre peut être prolongée dans un outil, en l'occurrence ici la voiture (Berthoz, 2013). Concernant le simulateur de conduite du LEPSiS utilisé dans la tâche 3, la représentation de l'habitacle du véhicule consiste en un quart de véhicule comprenant uniquement le siège du conducteur et la moitié du tableau de bord. Concernant le simulateur de conduite du Cerema, la représentation de l'habitacle est encore plus succincte puisqu'il consiste simplement en un siège de conducteur et un volant sans aucun autre élément du tableau de bord. Cette représentation parcellaire de l'habitacle pourrait induire des informations de direction mais également de position biaisées. En effet, si les conducteurs, en situation naturelle de conduite, utilisent à la fois les limites gauche et droite de l'habitacle comme référence pour leur positionnement latérale alors les informations disponibles dans les simulateurs de conduite de l'IFFSTAR et du Cerema pourraient les amener à adopter des positions latérales qui ne s'apparentent pas à celle d'un véhicule léger. Dans le cas du simulateur de conduite du LEPSiS, les participants peuvent utiliser les limites de la demi-cabine comme référence et, dans le cas du simulateur de conduite du Cerema, ils pourraient utiliser les limites de l'écran central comme le suggèrent Wann et Wilkie (2002) dans leurs études menées sur simulateur¹⁶. Dans les deux cas, les limites se répartissent équitablement de part et d'autre du sujet ce qui n'est pas le cas dans un habitacle de véhicule léger.

Deux solutions bas-coûts peuvent être envisagées pour fournir aux utilisateurs du simulateur de conduite du Cerema des informations visuelles leur permettant de disposer des limites gauche et droite de l'habitacle d'un véhicule léger. La première solution vise à fournir un habitacle physique dont la largeur représente celle d'un véhicule léger en installant un siège supplémentaire sur la droite représentant le véhicule passager. La deuxième solution vise à fournir un habitacle graphique représentant un véhicule léger. A notre connaissance, au démarrage du projet, il n'existait pas d'études sur l'impact de la représentation d'un habitacle graphique sur la position latérale. Concernant l'impact d'un habitacle physique, parmi les trois études qui se sont intéressées à l'impact de la configuration du simulateur de conduite sur la position latérale, deux études indiquent que la position latérale adoptée est plus éloignée de l'axe de la route lors de la conduite dans les simulateurs de conduite présentant une cabine physique que dans les simulateurs de table (Park, Allen, Rosenthal, & Fiorentino, 2005; Rosey & Auberlet, 2014) alors que la troisième étude (S. L. Jamson & Jamson, 2010) n'observe pas d'effet du type de simulateur de conduite (table *versus* cabine complète) sur la position latérale. Dans cette dernière étude, l'affichage dans le simulateur de table est légèrement différent puisqu'il contient une représentation simplifiée de l'habitacle mais c'est aussi le cas dans l'étude de Park et al. (2005) et sous une forme plus élaborée. Ces études ne permettent donc pas de conclure sur l'impact respectif de la présence d'un habitacle physique ou d'un habitacle graphique sur la validité éthologique de la position latérale dans un simulateur de conduite.

Objectif de l'étude

A la remise du rapport d'avancement, l'objectif de cette expérience est de 1) étudier la validité éthologique des comportements dans le simulateur de conduite du Cerema et, éventuellement du LEPSiS et 2) d'étudier l'effet de la configuration du simulateur de conduite du Cerema sur la validité éthologique des comportements. Concernant cette deuxième question, il s'agit d'évaluer l'impact respectif

¹⁶ il est à noter que lors de la première expérience menée avec le simulateur de conduite du Cerema en 2016 en dehors de ce projet, quelques participants ont laissé entendre qu'ils trouvaient difficile de percevoir où ils se situaient sur la route au démarrage de la simulation de conduite. Ce sont ces remarques qui nous ont amenés à s'interroger sur la possibilité d'identifier des solutions bas coûts visant à fournir des indices perceptifs aidant les participants à se positionner.

de deux solutions bas-coût visant à améliorer les informations permettant, à savoir l’affichage graphique d’un habitacle ou l’ajout du siège passager avant dans un simulateur bas coût, sur la validité éthologique des comportements de conduite d’intérêts pour l’évaluation a priori des aménagements de la route (position latérale, vitesse) et le sentiment de présence.

A l'origine du projet, il était prévu d'utiliser une reproduction 3D temps réel existante d'une section du réseau routier des Côtes d'Armor. Malheureusement, la DTerOuest a constaté en début de projet qu'aucun élément de la géométrie de la route n'était conforme à la route réelle. De ce fait, la DTerOuest et le LEPSiS ont travaillé ensemble sur la méthodologie pour réaliser une nouvelle réplique 3D temps réel de la RD786, travail toujours en cours à la remise de ce rapport d'avancement de la tâche 2. De ce fait, dans la suite, nous présenterons succinctement le travail méthodologique non prévu au démarrage du projet et visant à réaliser une maquette 3D géo-référencée ainsi que le protocole envisagé par la DTerOuest pour la comparaison intra-sujet.

2.2. Méthodologie pour la réplique d'un environnement réel dans un simulateur de conduite

La réalisation d'une base routière visuelle reproduisant une section de route réelle pour le simulateur de conduite supposait un travail de modélisation géo-spatiale à deux niveaux, d'une part un niveau logique et, d'autre part, un niveau visuel. Le niveau visuel (ou graphique) concerne la réalisation d'une maquette 3D temps réel reproduisant les caractéristiques visuelles de la route et de son environnement. Le niveau logique concerne la description des routes reproduites en termes de connexion des routes et de leurs caractéristiques individuelles afin de simuler le trafic et de calculer les valeurs des variables liées au trafic simulé et au véhicule piloté.

Niveau graphique

Le travail de réplique d'un environnement réel de conduite dans une simulation 3D temps réel est un travail de modélisation géo-spatiale d'une route et de son environnement. Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé un logiciel de création d'environnements synthétiques 3D temps réel (Trian3DBuilder, TrianGraphics, Allemagne) permettant de créer des environnements génériques ou des reproductions d'environnements réels grâce à la compilation de données géographiques (les données d'élévation, les ortho-photographies, les données vectorielles) et de représentations d'objets réels (modèles 3D) tels que des panneaux de signalisation, de la végétation ou encore des bâtiments.

Le travail nécessaire à la réalisation de la maquette 3D temps réel a porté sur 5 niveaux de représentation :

- la topographie,
- la route,
- la signalisation et les équipements de la route,
- la végétation,
- les bâtiments.

Il est à noter que le niveau de reproduction cherché pour chacun de ces niveaux n'est pas identique et est directement lié à l'objectif d'utilisation de l'environnement virtuel. En ce qui nous concerne, puisque l'environnement virtuel vise à analyser le comportement des conducteurs dans une simulation de conduite, l'exigence principale porte sur la reproduction des éléments impactant directement la conduite automobile soient la topographie, la route et la signalisation. Concernant la reproduction de la végétation et des bâtiments, elle vise surtout à reproduire les éléments qui peuvent être des ancrages visuels ou qui ferment le paysage visible depuis la route.

Représentation de la topographie

La représentation de la topographie de la zone comprenant l'ensemble de la section de la RD786 à reproduire (environ 6 km) a été faite à l'aide des données d'élévations de trois dalles issues d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 5 mètres. Les trois dalles ont du faire l'objet d'un pré-traitement à l'aide d'un logiciel SIG (QGIS Geographic Information System, Open Source Geospatial Foundation) et d'un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO ; AutoCAD, Autodesk, USA) afin de les fusionner avant leur import dans le logiciel Trian3DBuilder.

Représentation de la route

Le logiciel Trian3DBuilder possède un module permettant de générer des chaussées à partir de données vectorielles. Un premier test a consisté à importer directement dans Trian3DBuilder les vecteurs issus de la BD TOPO® (IGN, France) et de les confronter à un ortho-photographie à haut niveau de résolution afin de vérifier que les vecteurs issus de la BD TOPO® représentaient bien l'axe des chaussées des routes à reproduire. Malheureusement, il est apparu que les vecteurs n'étaient pas toujours alignés avec le centre de la chaussée ce qui compromettait la représentation fidèle du tracé en plan de la route. Nous avons donc dessiné les vecteurs représentant l'axiale des routes du circuit dans un logiciel de visualisation et de conversion d'informations géographiques (GlobalMapper, Blue Marble Geographics, USA) à partir de l'ortho-photographie afin de s'assurer que les vecteurs des routes reproduisent au mieux le tracé en plan. Le drapage de ce vecteur sur les données d'élévation dans Trian3DBuilder a mis en évidence que le profil en long ainsi généré présentait des défauts. La méthode finale retenue consiste donc à utiliser un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO, Covadis, Geomadia, France) pour générer les vecteurs représentant le centre du circuit routier à reproduire à partir de l'ortho-photographie haute résolution et du MNT. Ceci nous permet de générer un vecteur xyz suivant au mieux les données géographiques tout en générant un projet routier présentant un tracé en plan et un profil en long lissé.

Le vecteur xyz ainsi généré dans Covadis permet également de générer d'autres vecteurs représentant les bords de chaussée, le marquage qui sont utilisés dans Trian3DBuilder pour contrôler la qualité de la génération du profil en travers par le logiciel Trian3DBuilder.

Il est à noter que la représentation vectorielle de l'axe des routes en 3D est également celle utilisée au niveau logique (cf. § Niveau logique en page 61).

Représentation de la signalisation routière et des équipements de la route

Le relevé photographique géo-référencé de la route réalisé à l'aide de l'IRCAN dans l'expérience précédente pour caractériser le circuit(cf. § Relevé et exploitation des images routières du circuit en page 41) a été exploité à l'aide du logiciel IREVE pour, d'une part, identifier la signalisation routière horizontale et verticale ainsi que les équipements à reproduire (type, dimension) et, d'autre part, leur localisation géographique. Un relevé photographique complémentaire a été réalisé avec un appareil photographique doté d'un récepteur GNSS pour disposer d'une vue des éléments de signalisation et d'équipements non disponibles dans le relevé IRCAN¹⁷.

La saisie de la signalisation et des équipements sous IREVE a été importée dans un logiciel de visualisation et de conversion d'informations géographiques(GlobalMapper, Blue Marble Geographics, USA) pour corriger le positionnement des différents objets à l'aide de l'ortho-photographie haute résolution. La signalisation et les équipements non visibles dans IREVE ont été identifiés à cette étape à l'aide de l'ortho-photographie. L'ensemble de ces données vectorielles ont ensuite été importées dans Trian3DBuilder.

¹⁷Il aurait fallu demander un relevé IRCAN sur l'ensemble des voies de circulations visibles même si elles ne seront pas circulées dans le simulateur de conduite afin de disposer de toutes les informations nécessaires pour réaliser une base de données exhaustive.

L'ensemble de la signalisation verticale présente le long de la RD786 a été reproduite conformant à l'instruction interministérielle sur la signalisation routière(France, 1974, 1977a, 1977b, 1977c, 2011)et aux normes françaises concernant les dimensions des panneaux de signalisation (AFNOR, 1999) et de leurs décors (AFNOR, 1991a, 1991b, 1991c, 1991d, 1991e, 1991f, 1995, 2000, 2001, 2002, 2006a, 2006c, 2006b, 2007). L'ensemble des formes 3D génériques de la signalisation verticale à reproduire ont été dessinées à l'aide d'un logiciel de dessin assisté par ordinateur (AutoCAD, Autodesk, USA ; Figures 30a et b). Les modèles 3D de chaque panneau ont ensuite été réalisés à l'aide d'un logiciel de rendu et de modélisation 3D (3DS Max®,Autodesk, USA) en utilisant des textures¹⁸ générées à l'aide du logiciel de conception et de dimensionnement des panneaux de signalisation verticale SIGNAL projet (KADRI SIGNAL, France ; Figures 30c et d).

L'ensemble de la signalisation routière horizontale est générée à l'aide des modificateurs de Trian3DBuilder. Ces modificateurs permettent de générer assez facilement les marques d'axe et de rive conformément à la septième partie de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière(France, 1988a). Par contre, ils ne permettent pas de générer les hachures et chevrons.

Concernant les équipements, l'ensemble des formes 3D génériques des glissières métalliques présentes le long du circuit ont été dessinées à l'aide d'AutoCAD conformément aux dimensions de l'instruction relative à l'agrément et aux conditions d'emploi des dispositifs de retenue de véhicules contre les sorties accidentelles de chaussée(France, 1988b). Les modèles 3D de chaque type de glissières ont ensuite été réalisés à l'aide du logiciel 3DS Max en utilisant les textures fournies dans ce logiciel. Concernant les candélabres présents le long du circuit, nous avons utilisés les objets 2D fournis par le logiciel Trian3DBuilder.

Représentation de la végétation

La localisation des zones de végétation à reproduire pour rendre compte de l'environnement végétal de la route a été faite à partir de l'ortho-photographie dans le logiciel de visualisation de données géographiques GlobalMapper avant d'exporter ces données vectorielles dans Trian3DBuilder. Pour chacune de ces zones, les essences principales à reproduire ont été renseignées sur la base de l'identification faite par un collègue à partir d'une visualisation du circuit sous Google Maps.

L'ensemble des végétaux ont été reproduits à partir de la bibliothèque d'un logiciel de modélisation et d'animation 3D de végétaux (Xfrog, Xfrog Inc., USA).

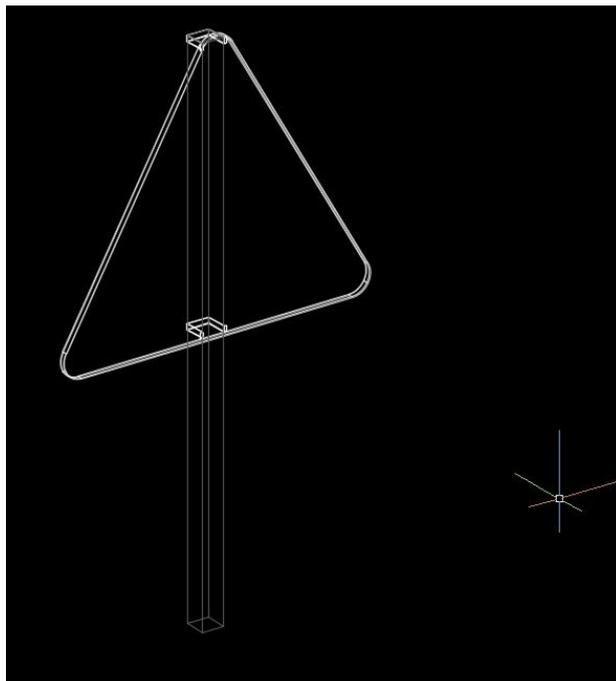
Représentation des bâtiments

La localisation des bâtiments à reproduire pour rendre compte de l'environnement architectural de la route a été faite à partir de l'ortho-photographie directement dans Trian3DBuilder.

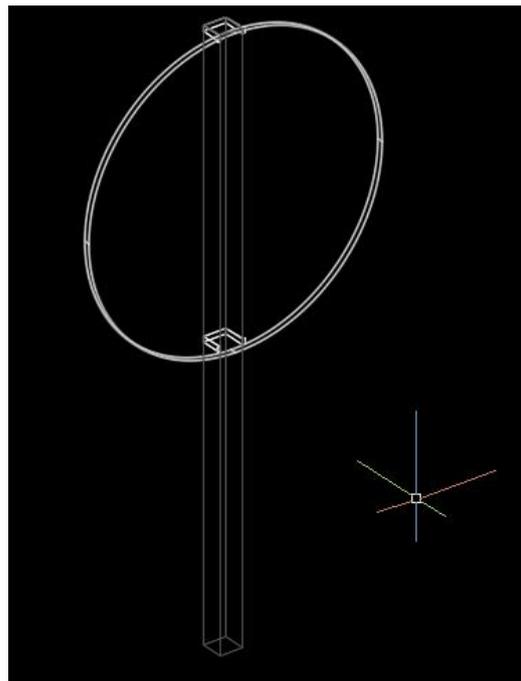
Les bâtiments visibles de la route ainsi que d'autres bâtiments représentatifs de l'architecture locale ont été reproduits à l'aide d'un logiciel de création de contenu 3D temps réel (Creator 16, Presagis, USA) en utilisant des textures issues d'images photographiques de ces bâtiments. Seuls les bâtiments entièrement visibles de la route ont été générés conformément à leur localisation géographique. Pour les bâtiments les plus éloignés de la route, la génération a été réalisée aléatoirement à partir de la bibliothèque de bâtiments 3D contenant l'ensemble des bâtiments 3D que nous avons réalisés.

¹⁸ La résolution est fixée à 1024 pixels pour la plus grande longueur de la texture.

a)



b)



c)



d)



e)



f)



Figure 30 : Réalisation de la signalisation verticale : a) forme générique pour les panneaux de type triangle - grande gamme ; b) forme générique pour les panneaux de type disque - grande gamme ; c à e) génération à partir de la forme générique et de la texture issue du logiciel SIGNAL Projet d'un panneau A13b (c), A21 (d), B14 à 90 km/h (e) et B14 à 110 km/h (f).

Niveau logique

Les vecteurs des axes des routes utilisés pour générer la représentation des routes au niveau visuel sont également ceux utilisés par le logiciel du simulateur de conduite pour générer les fichiers utiles à la création du niveau logique de la simulation de conduite. Pour le niveau logique, les vecteurs des axes des routes nécessite un travail supplémentaire, principalement au niveau des intersections pour permettre une simulation cohérente entre deux sections de route différentes.

S'agissant d'une maquette 3D géo-référencée, les coordonnées xyz des vecteurs des routes sont traduites dans celles d'une projection géographique. En France, on utilise le Lambert93 est c'est donc sous ce format que sont extraites les coordonnées des routes modélisées. Or le logiciel de simulation de conduite de l'IFSTTAR n'est pas en mesure de lire de telles coordonnées géographiques. L'IFSTTAR a donc développé un outil de pré-traitement des coordonnées xyz extraites du logiciel Trian3DBuilder afin qu'elles soient dans un format compatible avec le logiciel de simulation de conduite.

Bilan

Le travail méthodologique de conception d'une maquette 3D temps réel géo-référencée suppose l'utilisation d'outils logiciels extrêmement variés allant des outils de modélisation 3D temps réel aux outils SIG en passant par les outils de DAO et CAO 3D. Au démarrage du projet, au sein du consortium, seul le LEPSiS disposait des compétences de conception de maquette 3D temps réel. De son côté, la DTerOuest débutait l'utilisation des outils de CAO 3D et aucune des deux équipes n'avait de compétences sur l'utilisation de données géo-référencées. Dans le cadre de ce projet, un travail collaboratif a été mis en place entre le LEPSiS et la DTerOuest pour concevoir une maquette 3D temps réel géo-référencée. Initialement, la DTerOuest a pris en charge la fourniture, d'une part, de données géographiques compatibles avec l'outil de modélisation 3D temps réel et, d'autre part, des objets 3D liés à la signalisation routière verticale. De son côté, le LEPSiS a travaillé sur l'agrégation de ces données dans l'outil de modélisation 3D temps réel et sur l'outil de pré-traitement nécessaire à la génération du niveau logique de la simulation de conduite. Suite à l'acquisition par la DTerOuest de l'outil de modélisation 3D temps réel, le DTerOuest s'est investie peu à peu dans la conception de l'ensemble du niveau graphique de la maquette 3D temps réel grâce au travail collaboratif avec le LEPSiS et le suivi formation *ad hoc*. Actuellement, la DTerOuest finalise la conception de la maquette 3D temps réel géo-référencée (Figure 31).

Ce travail collaboratif avec le LEPSiS a permis à la DTerOuest d'acquérir les compétences nécessaires à la réalisation de maquettes 3D temps réel. De plus, il a permis d'acquérir les compétences particulières liées au cas d'une maquette 3D géo-référencée. Enfin, il a permis la mise en place d'une bibliothèque d'objets 3D liés à la conception routière dont le partage au sein du Cerema et avec l'IFSTTAR pourrait être envisagé.

Dans la suite, nous présenterons le protocole expérimental envisagé pour étudier la validité de la mesure de la trajectoire dans le simulateur de conduite du Cerema.

a)



b)



Figure 31 : Avancement de la maquette 3D géo-référencée : a) vues réelles à reproduire (Source : relevé IRCAN) ; b) vue actuelle de la maquette 3D dans le logiciel Trian3DBuilder.

2.3. Méthodologie

Participants

L'expérience complète sera réalisée avec au moins 20 sujets et si possible 30 sujets. Du fait du mal du simulateur de conduite, il faudra probablement recruter un peu plus de participants. Il est difficile d'envisager d'aller au delà de 30 participants du fait de la disponibilité des agents du laboratoire pour participer à ces études.

Les critères de recrutements seront les suivants :

- être titulaire d'un permis B valide depuis au moins 5 ans ;
- avoir un âge compris entre 25 et 64 ans compris ;
- conduire au moins 4000 km/an tous véhicules confondus. Si le participant conduit fréquemment en deux-roues motorisés, il devra au moins conduire 1000 km/ an en voiture ;
- vue normale ou corrigée et ne pas souffrir d'une pathologie visuelle connue telle qu'un glaucome. La presbytie, l'hypermétropie, la myopie et l'astigmatisme ne sont pas des contre-indications.
- ne pas souffrir de migraine, d'épilepsie ou du mal des transports ;
- pour les femmes, ne pas être enceinte.

Véhicule instrumenté

Le véhicule instrumenté sera le même que celui utilisé dans l'étude en situation réelle de conduite.

Simulateur de conduite

Le simulateur de conduite automobile du Cerema (DTERouest) est un simulateur statique de basse fidélité en termes de cabine mais de fidélité intermédiaire en termes de restitution visuelle (Figure 32). La solution logicielle est développée par l'IFSTAR et est identique à celle utilisée lors des expériences de la tâche 3.

Le poste de conduite comprend un fauteuil et son système de ceinture de sécurité récupérés sur une CLIO (Renault, France) et un système de commande (G25, Logitech, Suisse). Ce système de commande à retour d'effort comprend un volant, un boîtier de vitesse et un pédalier. Dans le cadre de cette étude, le volant d'origine a été remplacé par un volant de diamètre similaire à celui du véhicule instrumenté (37 cm). De plus, le fauteuil et le système de commande ont été installés sur une plate-forme, appelée plate-forme "conducteur", de telle façon que leurs distances respectives se rapprochent des distances observées dans le véhicule instrumenté. Le participant peut ajuster la position du fauteuil par rapport au volant comme il le ferait dans le véhicule instrumenté.

Spécifiquement pour cette étude, une deuxième plate-forme amovible portant un fauteuil de voiture passager, appelée plate-forme "passager", pourra être solidarisée à la plate-forme "conducteur". Cette deuxième plate-forme a été conçue de telle façon que lorsqu'elle est solidarisée à la plate-forme "conducteur", les distances respectives des fauteuils et des commandes se rapprochent des distances observées dans le véhicule instrumenté.

Le système d'affichage consiste en trois écrans LED incurvés de 55 pouces (UE55KS9000, Samsung, Corée du Sud ; rayon de courbure de 4,2 m). Les angles entre les trois écrans et la distance de la plate-forme "conducteur" par rapport aux trois écrans restent à déterminer mais ils devront permettre d'offrir un champ de vision horizontal d'au moins 120°, valeur admise dans la littérature pour permettre une bonne perception de la vitesse (Kemeny & Panerai, 2003) et si possible, comparable au champ visuel utilisé dans les expériences de la tâche 3. Chaque écran permet un affichage avec une résolution spatiale maximale de 3840 x 2160. La résolution temporelle d'affichage devra être

d'au moins 30 Hz. Le son quadriphonique sera transmis à l'aide d'un système audio 5.1 (Z906, Logitech).

a)



b)



Figure 32 : Simulateur de conduite du Cerema : a) plate-forme "conducteur" et plate-forme "passager" ; b) plate-forme "conducteur" seule.

Situations de conduite

Test sur route réelle

L'étude en environnement réel de conduite sera réalisée sur la route départementale 786 (RD786, Côtes d'Armor, France) du PR20 - 47,00 m au PR24 + 1892,42 m soit environ 6 km. Elle comprend une première section de route à 2 x 2 voies d'environ 1,9 km (PR20 + 00 au PR21 + 1125,93m), comprise entre deux carrefours giratoires et limitée à 110 km/h. Le profil en travers comprend des voies de 3,50 m et une bande dérasée de droite (BDD) d'environ 0,40 m. La deuxième section de route d'environ 2,1 km (PR22 + 00 au PR24 + 00) est également à 2 x 2 voies avec une limitation de vitesse à 110 km/h puis à 90 km/h (PR22 + 773,16 m). Le profil en travers comprend des voies de 3,50 m et une BDD d'environ 0,50 m. Enfin la troisième et dernière section de route d'environ 1,8 km (PR24 + 00 au PR24 + 1836,46 m) est une route bidirectionnelle limitée à 90 km/h puis à 70 km/h (PR24 + 700,53 m). Le profil en travers comprend des voies de 3,35 m et une BDD d'environ 0,40 m.

Test dans le simulateur de conduite

L'étude en environnement simulé de conduite sera réalisée sur la reproduction de cette portion de 6 km de la RD786.

Aucun trafic ne sera simulé dans le sens de circulation du participant. Du trafic sera simulé dans le sens inverse de circulation du participant sur l'ensemble du circuit mais de manière différente entre la section de route à chaussées séparées (section 1) et les sections de route bidirectionnelle (sections 2 et 3). Concernant la section 1, puisque nous serons sur une route à chaussées séparées, le trafic simulé visera uniquement à participer à l'immersion des participants, aucune précaution particulière ne sera prise concernant l'occurrence de sa rencontre avec le véhicule du participant. Concernant les sections 2 et 3, il est envisagé de générer, si possible, quelques véhicules afin éventuellement de tester l'influence du croisement d'un véhicule en section droite et en virage. Des précautions particulières seront donc prises pour que l'occurrence des rencontres avec le véhicule du participant se fasse sur des sections précises.

Une reproduction partielle de l'habitacle d'une Clio III, réalisée spécifiquement pour cette étude par la DTerOuest à partir d'un modèle fourni par TurboSquid (USA) pourra être affichée. Les participants pourront donc être exposés à l'un ou l'autre des deux environnements graphiques suivants : 1) un environnement sans aucun élément graphique de l'habitacle (les rétroviseurs latéraux et central ne seront pas affichés) ou 2) un environnement avec des éléments graphiques de l'habitacle (le capot et le montant seront reproduits à partir du modèle 3D d'une Clio III, les rétroviseurs latéraux et central seront placés au même niveau que ceux du modèle 3D de la Clio III mais leurs formes ne respectera pas celles des rétroviseurs d'une Clio III).

Procédure

Les agents du DLRB (DTerOuest, Cerema) seront informés par email de la tenue d'une prochaine expérimentation nécessitant de conduire le véhicule instrumenté et dans le simulateur de conduite. Les critères de recrutement seront indiqués dès cette étape. Ils seront invités à indiquer leur souhait de participer ou non à cette expérimentation. La finalisation du recrutement se fera pas sollicitation individuelle à l'oral ou par email.

Les volontaires recevront des informations décrivant l'expérimentation dans des termes généraux, le point de rendez-vous au sein du DLRB ainsi qu'un rappel de la date et de l'heure prévue pour leur participation via la plate-forme YouCanBookMe.

A leur arrivée, ils seront invités à prendre connaissance avec l'expérimentateur d'un texte décrivant succinctement le déroulement de l'expérimentation et signalant le risque du mal de simulateur, puis un temps leur sera laissé pour relire à leur rythme les informations et remplir un formulaire de consentement.

Ils devront ensuite compléter un court questionnaire visant à recueillir des informations générales (âge, expérience de la conduite, correction visuelle, etc...) et vérifier que les participants remplissent bien les conditions de recrutement.

Le circuit sur lequel ils devront circuler sur route réelle et dans le simulateur de conduite leur sera présenté à l'aide d'une carte. L'idée est de les placer au plus près des conditions réelles de conduite. Il est en effet rare qu'un conducteur n'ait pas anticipé son itinéraire.

Ils seront ensuite amenés dans la salle du simulateur de conduite ou dans le véhicule instrumenté. Chaque participant fera une fois le parcours avec le véhicule instrumenté et quatre fois dans le simulateur de conduite. Ces cinq séances de conduite seront contrebalancées.

Lors de la première séance de conduite dans le simulateur de conduite automobile, les participants seront invités à s'installer dans le simulateur et à prendre le temps de régler la position du siège et du volant. Puis ils seront d'abord familiarisés à la conduite dans le simulateur. Ils seront invités à circuler sur la base visuelle reproduite mais dans le sens inverse. Ils seront invités à conduire au moins une fois sur le circuit de familiarisation et il leur sera indiqué qu'ils pourront conduire une ou plusieurs fois supplémentaires s'ils en éprouvent le besoin, l'objectif étant pour eux de se familiariser avec les commandes et les situations de conduite comme il le ferait pour une nouvelle voiture. De cette façon, ils seront exposés dès la familiarisation à la reproduction de la route réelle ce qui présente deux avantages : 1) on peut imaginer une certaine distraction de la conduite dans le simulateur liée à l'exploration visuelle de la maquette reproduisant la route réelle, l'exposition à la maquette dès la familiarisation vise à atténuer cette distraction ; 2) de plus, cela les familiarisera aux différentes situations de conduite auxquelles ils seront exposés, à savoir conduite sur route bidirectionnelle, sur route à 2 x 2 voies, franchissement de carrefours giratoires.

Puis les sujets seront confrontés à l'un des quatre environnements du simulateur de conduite. A l'issue de chacune des quatre séances de conduite dans le simulateur de conduite, chaque participant devra compléter des questionnaires visant à recueillir son ressenti.

Lors de la séance de conduite avec le véhicule instrumenté, les participants seront invités à s'installer dans le véhicule et à prendre le temps de régler la position du siège, du volant et des rétroviseurs central et latéraux. Ils ne seront pas autorisés à utiliser le poste de radio. Le régulateur et le limiteur de vitesse seront désactivés. Ces informations seront données dès la présentation du déroulement de l'expérience et seront rappelées à ce stade. Afin de familiariser le participant à la conduite sur le véhicule instrumenté, il lui sera demandé de conduire jusqu'au début du circuit réel. Pendant cette période, aucune acquisition de données ne sera réalisée. Il sera demandé au participant de s'arrêter un court instant à proximité du circuit réel. L'expérimentateur rappellera le circuit à réaliser, lancera l'acquisition puis invitera le participant à réaliser le circuit. A la fin du circuit, l'expérimentateur reprendra la volant jusqu'au laboratoire.

L'expérimentateur devra noter tout élément inhabituel survenant pendant la passation et être vigilant sur d'éventuels signes traduisant une gêne du sujet liée au mal du simulateur pendant les phases de conduite dans le simulateur de conduite automobile.

A l'issue de la conduite dans les cinq environnements, le participant sera invité à renseigner sur une carte son niveau de familiarité avec la circuit.

Il lui sera ensuite demandé quel est selon lui l'objectif précis de l'étude à laquelle il vient de participer avant de lancer le débriefing.

Puisqu'il est filmé pendant la séance de conduite avec le véhicule instrumenté, il lui sera demandé de compléter un document permettant de recueillir son souhait concernant l'autorisation d'utilisation d'image.

Enfin, un dédommagement sous la forme de tickets cadeaux lui sera remis pour un montant maximum de 40 euros.

Le temps de passation complet est estimé à 2h30.

3. Discussion et conclusion

La tâche 2.2 du projet PROFIL visait, d'une part, à recueillir les trajectoires en situation réelle de conduite sur des routes bidirectionnelles afin d'acquérir des connaissances sur les usages par les conducteur des différents profils en travers et, d'autre part, à comparer les trajectoires adoptées en situation réelle de conduite à celles adoptées dans les simulateurs de conduite afin d'alimenter les connaissances sur le niveau de transfert des résultats des expériences de la tâche 3 de ce projet réalisées dans un simulateur de conduite.

Afin de répondre à la question de l'usage en situation réelle de conduite de différents profils en travers, ce projet a proposé de mener une expérience basée sur le recueil en continu dans un véhicule instrumenté de la position latérale et des inter-distances à l'aide d'un outil basé sur l'utilisation de la télémétrie laser à balayage développé dans la tâche 2.1 de ce projet. Au delà de l'instrumentation propre à l'outil de mesure de la trajectoire, la réalisation de cette expérience a nécessité un travail méthodologique important afin de recueillir les données comportementales et routières et constituer une base de données synchronisées permettant de sélectionner les situations d'intérêts. En effet, si les expériences en véhicule instrumenté sur parcours réel permettent d'observer le comportement en situation quasi écologique, elle demande un effort particulier pour isoler les variables indépendantes d'intérêts et identifier des situations d'observations comparables. Dans notre cas, puisqu'il s'agissait d'étudier l'impact du profil en travers et du trafic, nous nous sommes appuyés sur les outils IREVE et MOGEO développés au sein du réseau scientifique et technique pour décrire les sections de route en termes de profil en travers et de tracé en plan. De plus, nous avons conçu notre dispositif d'acquisition synchrone des données comportementales à l'aide du logiciel RTMaps de telle façon qu'il puisse, d'une part nous permettre de saisir des événements d'intérêts tel que la présence de trafic en temps réel et, d'autre part, nous permettre de visualiser a posteriori les données dans l'outil de visualisation The Observer XT et les enrichir avec les données routières ainsi que les autres données d'observation afin de constituer une base des données comportementales et routières unique nous permettant d'extraire les situations à analyser. A l'issue du projet PROFIL, l'expérience a été réalisée et la base de données routières et comportementales a été réalisée, il ne manque plus qu'à l'enrichir des comportements en termes de position latérale et d'inter-distances pour pouvoir débiter les analyses.

Concernant la comparaison des trajectoires adoptées en situation réelle et dans les simulateurs de conduite, ce projet a proposé de mener une expérience visant à comparer les trajectoires observées en situation réelle sur une section du réseau routier des Côtes d'Armor à celles adoptées par un même pool de participants dans le simulateur de conduite du Cerema (comparaison intra-sujet) et à celles adoptées par un autre pool de participants dans le simulateur de conduite de l'IFSTAR utilisé pour réaliser les expériences de la tâche 3 (comparaison inter-sujet). D'un point de vue méthodologique, cette expérience supposait de disposer d'une maquette 3D temps réel reproduisant une section de route réelle. Au démarrage du projet, il a été constaté que la maquette 3D temps-réel existante n'était pas de qualité suffisante pour mener l'expérience envisagée. Plutôt que d'annuler simplement cette expérience, il a été proposé de mettre en place un travail collaboratif entre la DTerOuest du Cerema et le LEPSIS de l'IFSTAR afin de développer la méthodologie permettant de réaliser des maquettes 3D temps-réel géo-référencées. De plus, au vue des retours des participants dans une expérience menée sur le simulateur de conduite du Cerema en dehors du projet PROFIL, le protocole expérimental envisagé a été revu afin de chercher à évaluer l'impact de deux solutions bas-côté visant à améliorer la simulation des informations visuelles liées à l'habitacle sur la validité des trajectoires dans les simulateur de conduite. A l'issue du projet PROFIL, la maquette 3D temps-réel géo-référencée est en cours de finalisation et l'expérience n'a donc pas encore été conduite.

A l'issue de ce rapport d'avancement de la tâche 2.2, il apparaît que l'objectif initial de cette tâche n'est que partiellement atteint, d'une part, du fait de la finalisation encore en cours de la méthode de traitement des données pour mesurer la position latérale et les inter-distances et, d'autre part, du

fait du travail de conception de la maquette 3D temps-réel géo-référencée, travail non envisagé au démarrage du projet. Néanmoins, cette absence actuelle de résultats en termes de connaissances de l'usage du profil en travers en situation réelle de conduite ne doit pas occulter les résultats obtenus d'un point de vue méthodologique. En effet, dans le cadre de ce projet, la DTerOuest a complètement revu l'instrumentation de son véhicule et la chaîne d'acquisition des données comportementales afin de pallier aux écueils méthodologiques auxquels elle avait fait face dans les expériences précédentes, notamment concernant l'identification des situations de conduite sur la base du géo-référencement. Elle a cherché à s'appuyer sur les outils existants au sein du RST afin de constituer une base de données routières et comportementales, outils que l'équipe n'avait jamais utilisés auparavant. De plus, elle a cherché à optimiser au mieux les outils de synchronisation de données et de visualisation des données pour permettre la constitution d'une unique base de données routières et comportementales pouvant être enrichies par des observations post-acquisition et permettant d'extraire les données des situations d'intérêts. De plus, la DTerOuest s'est investie avec le LEPSiS dans la mise au point de la méthodologie de conception d'une maquette 3D temps-réel géo-référencée, travail qui a nécessité pour les deux équipes "l'acculturation" à l'utilisation des données géo-référencées, aux outils SIG et à leur utilisation dans le nouvel outil de conception de maquette 3D temps-réel acquis en cours de projet. De plus, la DTerOuest s'est investie dans la constitution d'une bibliothèque d'objet 3D de la signalisation routière verticale et des dispositifs de retenue conformes aux instructions françaises ainsi que dans l'utilisation des outils de conception routière assistée par ordinateur pour permettre de concevoir des maquettes 3D de routes conformes aux recommandations en termes de conception routière. Que ce soit pour le travail méthodologique lié au véhicule instrumenté ou lié au simulateur de conduite, il est à souligner qu'il a nécessité l'utilisation de nombreux logiciels différents dont la quasi totalité ont été utilisés pour la première fois par l'équipe scientifique et technique dans le cadre de ce projet.

La remise de ce rapport d'avancement de la tâche 2.2 du projet PROFIL ne clôture pas le travail initié dans ce projet. Concernant l'expérience en situation réelle de conduite, nous espérons que la finalisation de la méthode de mesure, *a minima*, de la position latérale pourra être réalisée dans les prochains mois afin d'analyser l'usage par les conducteurs de différents profils en travers. Concernant l'expérience portant sur la validité de la mesure des trajectoires dans les simulateurs de conduite, nous souhaitons réaliser l'expérience dès que la maquette 3D géo-référencée sera finalisée afin d'acquérir des connaissances sur le niveau de validité, *a minima*, du simulateur de conduite du Cerema. Plus largement, le travail méthodologique réalisé dans le cadre de ce projet sera utilisé dans les études ultérieures de la DTerOuest pour observer l'interaction de l'utilisateur de la route avec l'environnement routier en situation réelle ou simulée et identifier les possibles dysfonctionnements lors de ces interactions afin d'émettre des recommandations concernant la conception de l'interface routière.

4. Contributions dans la tâche 2.2

La contribution des différentes personnes à la tâche 2.2 à la remise du rapport d'avancement de la tâche 2 est indiquée dans les paragraphes suivants.

4.1. Département Laboratoire de Saint-Brieuc, DTer Ouest, Cerema

Lara Désiré : conception des protocoles des deux expériences, supervision de la modification de l'instrumentation du VOICIE et du simulateur de conduite SOICIE, supervision de la méthode d'acquisition synchrone des données à l'aide du logiciel RTMaps, passation de l'expérience en situation réelle de conduite, identification des zones potentielles d'analyse dans IREVE, préparation des points de repères des zones d'analyse potentielle et du tracé en plan, réalisation de la cartographie du tracé en plan dans TrackLab, conception de la méthode de visualisation et d'analyse synchrone des données routières et comportementales à l'aide des logiciels TrackLab et The Observer, constitution de la base de données routières et comportementales dans le logiciel The Observer, supervision de la méthode de conception de la maquette 3D temps réel géo-référencée.

Renaldo Gritti : réalisation en partie de l'instrumentation du VOICIE, participation à la réalisation de la grille de calibration pour l'outil de mesure de la position latérale et des inter-distances, , réalisation dans RTMaps du diagramme d'acquisition des données issues du BUS CAN, du récepteur GNSS, de la centrale inertielle, des caméras vidéos et du microphone, réalisation dans RTMaps des diagrammes de construction des vidéos quad des caméras et des vues LiDAR, participation aux relevés IREVE et MOGEO, réalisation de la cartographie des zones d'analyse potentielles dans TrackLab, réalisation dans The Observer des codages visant à enrichir la base de données routières et comportementales, conception et réalisation des plateformes "conducteur" et "passager" et des supports d'écran du simulateur de conduite du Cerema, installation et suivi des ordinateurs du simulateur de conduite, participation à la création des végétaux 3D utilisés dans la maquette géo-référencée, participation à la mise à niveau du PC utilisé pour la conception de la maquette 3D temps-réel.

Matthieu Adam : conception de la méthode permettant de créer une signalisation verticale 3D conforme à la réglementation, réalisation de l'ensemble de la signalisation verticale 3D de la maquette, conception de la méthode permettant de créer une bibliothèque de végétaux 3D, réalisation de l'ensemble de la végétation, réalisation d'une partie des bâtiments 3D, conception de la méthode permettant d'exploiter les données de MNT pour reproduire la topographie de l'environnement de la route, réalisation d'un MNT exploitable par le logiciel Trian3DBuilder, conception de la méthode permettant de reproduire à partir de données géographiques la section de route réelle dans Covadis dans une perspective d'utilisation pour le maquettage 3D temps réel dans Trian3DBuilder, identification et préparation des données géographiques permettant de géo-référencer dans Trian3Dbuilder la signalisation routière et les équipements de la route ainsi que la végétation et les bâtiments à reproduire, participation à la conception de la méthode de réalisation d'une maquette 3D géo-référencée temps réel dans le logiciel Trian3DBuilder, réalisation de la maquette 3D géo-référencée, réalisation de l'habitable graphique.

4.2. Département Infrastructures de transport Mulimodales, DTerNC, Cerema

Yohan Dupuis : conception du diagramme RTMaps d'acquisition des données issues des LiDAR, du récepteur GNSS et de la centrale inertielle nécessaires à l'estimation de la position latérale et des inter-distances, participation au diagramme de construction des vidéos des caméras et vues LiDAR, exploitation des données acquises en situation réelle de conduite afin de fournir les variables comportementales de position latérale et d'inter-distances.

Florence Rosey : participation à l'identification du circuit pour l'expérience en situation réelle de conduite.

Olivier Moisan : participation à l'identification du circuit pour l'expérience en situation réelle de conduite.

4.3. LEPSiS, IFSTTAR

Isabelle Aillerie : participation à la conception de la méthode de réalisation d'une maquette 3D géo-référencée temps réel dans le logiciel Trian3DBuilder, réalisation des pré-tests de réalisation de la maquette 3D géo-référencée dans Trian3DBuilder, participation à la conception de la méthode de réalisation du niveau logique de la maquette 3D à partir des données issues du logiciel Trian3DBuilder.

Fabrice Vienne : supervision de la méthode de conception de la maquette 3D temps réel géo-référencée, participation à la conception de la méthode de réalisation du niveau logique de la maquette 3D à partir des données issues du logiciel Trian3DBuilder et réalisation de l'outil de pré-traitement des données issues du logiciel trian3DBuilder afin qu'elles soient dans un format compatible avec le logiciel de simulation de conduite.

5. Remerciements

Lara Désiré tient à remercier les personnes suivantes :

- les vingt participants à l'expérience en situation réelle de conduite pour leur disponibilité et leur patience,
- Régis Le Berre au Conseil départemental des Côtes d'Armor pour avoir pris le temps de l'éclaircir sur la catégorisation du réseau routier des Côtes d'Armor,
- Sylvain Caillot, Ludovic Ragueneau, David Chauvet et Alain Thomas du Département Laboratoire CECP d'Angers (DTEROuest, Cerema) pour la réalisation au pied levé des relevés IRCAN et MOGEO,
- Hervé Falala du Service de Documentation (DTEROuest, Cerema) pour lui avoir facilité l'accès à la documentation scientifique,
- Christine Bourgeais, Corinne Cruz, Laurence Barrès (DLRB, DTEROuest, Cerema) et Lionel Maingueneau (SFC, DTERSO, Cerema) pour le suivi des achats matériels et du financement du projet,
- et enfin ses collègues Stéphanie Bordel et Véronique Guégan pour avoir fait en sorte que le groupe ESR puisse s'adapter aux fortes sollicitations de l'équipe technique requises par ce projet.

6. Références bibliographiques

- AFNOR. (1991a). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 1 : Dimensions des décors des panneaux de police (Norme française homologuée No. NF P 98-532-1) (p. 14). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1991b). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 2 : Représentation graphique des panneaux de police (Norme française homologuée No. NF P 98-532-2) (p. 175). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1991c). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 4 : Caractéristiques typologiques des panneaux directionnels (Norme française homologuée No. NF P 98-532-4) (p. 24). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1991d). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 5 : Alphabets, symboles et idéogrammes des panneaux (Norme française homologuée No. NF P 98-532-5) (p. 73). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1991e). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 6 : Dimensions et graphismes des panneaux temporaires (Norme française homologuée No. NF P 98-532-6) (p. 15). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1991f). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 7 : Dimensions et règles de conception des panneaux directionnels (Norme française homologuée No. NF P 98-532-7) (p. 39). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1995). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 1 : Caractéristiques typologiques des nouveaux panneaux (Norme expérimentale No. XP P 98-542-1) (p. 123). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (1999). Signalisation routière verticale permanente - Dimensions principales des panneaux de signalisation et de leurs supports : Valeurs et tolérances dimensionnelles (Norme expérimentale No. XP P 98-531) (p. 11). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2000). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 2 : Caractéristiques typologiques des nouveaux panneaux (Norme expérimentale No. XP P 98-542-2) (p. 141). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2001). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 3 : Dimensions des décors et représentation graphique des panonceaux (Norme expérimentale No. XP P 98-532-3) (p. 89). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2002). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 3 : Caractéristiques typologiques des nouveaux panneaux (Norme expérimentale No. XP P 98-542-3) (p. 71). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2006a). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 0 : Articulation générale des normes P 98-532 (Norme expérimentale No. XP P 98-532-0) (p. 6). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2006b). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 4 : Caractéristiques typologiques des nouveaux panneaux (Norme expérimentale No. XP P 98-542-4) (p. 79). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2006c). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 8 : Caractéristiques typologiques et dimensionnelles des pan-

- neaux de jalonnement des aménagements cyclables (Norme expérimentale No. XP P 98-532-8) (p. 25). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- AFNOR. (2007). Signalisation routière verticale - Catalogue des décors des panneaux de signalisation et des panonceaux : Partie 9 : Caractéristiques typologiques et dimensionnelles des Panneaux à Messages Variables (Norme expérimentale No. XP P 98-532-9) (p. 154). Saint-Denis La Plaine, France: AFNOR.
- Allen, R. W., Rosenthal, T. J., & Cook, M. L. (2011). 2 : A short history of driving simulation. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird, & J. D. Lee (Éd.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology* (1^{re} éd., p. 2-1-2-16). CRC Press Inc.
- Allen, T., Lunenfeld, H., & Alexander, G. (1971). Driver information needs. *Highway Research Record*, (366), 102-115.
- Armour, M. (1985). Effect of road cross-section on vehicle lateral placement. *Australian Road Research Board*, 15(1), 30-40.
- Auberlet, J.-M., Rosey, F., Anceaux, F., Aubin, S., Briand, P., Pacaux, M.-P., & Plainchault, P. (2012). The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests—First results. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.11.020>
- Bella, F. (2005). Validation of a Driving Simulator for Work Zone Design. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1937, 136-144. <https://doi.org/10.3141/1937-19>
- Bella, F. (2008). Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1078-1087. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.10.015>
- Bella, F. (2013). Driver perception of roadside configurations on two-lane rural roads: Effects on speed and lateral placement. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.015>
- Ben-Bassat, T., & Shinar, D. (2011). Effect of shoulder width, guardrail and roadway geometry on driver perception and behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 2142-2152. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.06.004>
- Berthoz, A. (2013). Chapitre 4 : Référentiels. In *Le sens du mouvement* (2^e éd., p. 107-124). Paris, France: Odile Jacob.
- Bham, G. H., Leu, M. C., Vallati, M., & Mathur, D. R. (2014). Driving simulator validation of driver behavior with limited safe vantage points for data collection in work zones. *Journal of Safety Research*, 49(Supplement C), 53.e1-60. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.02.012>
- Bittner, A., Simsek, O., Levison, W., & Campbell, J. (2002). On-road versus simulator data in driver model development driver performance model experience. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1803, 38-44. <https://doi.org/10.3141/1803-06>
- Blaauw, G. J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: A validation study. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 24(4), 473-486. <https://doi.org/10.1177/001872088202400408>
- Blana, E. (1996). A survey of driving research simulators around the world (ITS Working Paper No. 481) (p. 76). Leeds, UK: Institute of Transport Studies, University of Leeds. Consulté à l'adresse <http://eprints.whiterose.ac.uk/2110/>
- Blana, Evi, & Golias, J. (2002). Differences between vehicle lateral displacement on the road and in a fixed-base simulator. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 44(2), 303-313. <https://doi.org/10.1518/0018720024497899>
- Boer, E. R., Girshick, A., Yamamura, T., & Kuge, N. (2000). Experiencing the same road twice : a driver centered comparison between simulation and reality. In *Proceedings of Driving Simulation*

- Conference. Consulté à l'adresse <http://ahnagirshick.files.wordpress.com/2011/07/boer-girshick-yamamura-kuge-2000.pdf>
- Branzi, V., Domenichini, L., & La Torre, F. (2017). Drivers' speed behaviour in real and simulated urban roads – A validation study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 49, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.06.001>
- Bunker, J. M., & Parajuli, A. (2006). Examining lateral positions of cars and heavy vehicles on a two lane, two way motorway. *Transport Engineering in Australia*, 10(2), 129-139.
- Caird, J. K., & Horrey, W. J. (2011). 5 : Twelve practical and useful questions about driving simulation. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird, & J. D. Lee (Éd.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology* (1^{re} éd., p. 5-1-5-18). CRC Press Inc.
- Cao, C., Wang, J., & Luo, Y. (2015). Driving simulator validation for research on driving behavior at entrance of urban underground road. In *2015 International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)* (p. 147-150). <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2015.7232083>
- Charlton, S. G., & Starkey, N. J. (2016). Risk in our midst: Centrelines, perceived risk, and speed choice. *Accident Analysis & Prevention*, 95, Part A, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.019>
- De Waard, D., Jessurun, M., Steyvers, F. J. J. ., Reggatt, P. T. F., & Brookhuis, K. A. (1995). Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation. *Ergonomics*, 38(7), 1395-1407. <https://doi.org/10.1080/00140139508925197>
- Dibben, N., & Williamson, V. J. (2007). An exploratory survey of in-vehicle music listening. *Psychology of Music*, 35(4), 571-589. <https://doi.org/10.1177/0305735607079725>
- Dijksterhuis, C., Brookhuis, K. A., & De Waard, D. (2011). Effects of steering demand on lane keeping behaviour, self-reports, and physiology. A simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 1074-1081. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.014>
- Donges, E. (1978). A two-level model of driver steering behavior. *Human Factors*, 20(6), 691-707.
- European commission. (2015). Driver distraction. European Commission, Directorate General for Transport. Consulté à l'adresse https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/ersosynthesis2015-driverdistraction25_en.pdf
- France. Instruction interministérielle sur la signalisation routière - 3ème partie : Intersections et régimes de priorité, Pub. L. No. Arrêté du 26 juillet 1974 relatif à la signalisation des routes et autoroutes (Journal Officiel du 4 septembre 1974) (1974).
- France. Instruction interministérielle sur la signalisation routière - 1ère partie : Généralités, Pub. L. No. Arrêté du 7 juin 1977 relatif à la signalisation des routes et autoroutes (Journal Officiel du 13 août 1977) (1977).
- France. Instruction interministérielle sur la signalisation routière - 2ème partie : Signalisation de danger, Pub. L. No. Arrêté du 7 juin 1977 relatif à la signalisation des routes et autoroutes (Journal Officiel du 13 août 1977) (1977).
- France. Instruction interministérielle sur la signalisation routière - 4ème partie : Signalisation de prescription, Pub. L. No. Arrêté du 7 juin 1977 relatif à la signalisation des routes et autoroutes (Journal Officiel du 13 août 1977) (1977).
- France. Instruction interministérielle sur la signalisation routière - 7ème partie : Marques sur chaussée, Pub. L. No. Arrêté du 16 février 1998 relatif à l'approbation de modifications de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière (Journal Officiel du 12 mars 1998) (1988).
- France. Instruction relative à l'agrément et aux conditions d'emploi des dispositifs de retenue des véhicules contre les sorties accidentelles de chaussée, 88-49 Circulaire § (1988). Consulté à

l'adresse <http://portail.documentation.developpement-durable.gouv.fr/dtrf/pdf/pj/Dtrf/0001/Dtrf-0001913/TO1913.pdf>

- France. Instruction interministérielle sur la signalisation routière - 5ème partie : Signalisation d'indication, des services et de repérage, Pub. L. No. Arrêté du 6 décembre 2011 modifiant l'arrêté du 24 novembre 1967 relatif à la signalisation des routes et autoroutes (Journal Officiel du) (2011).
- France, Ministère de l'Équipement, Direction des Routes, & Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes. (1994). Recommandations techniques pour la conception générale et la géométrie de la route : Aménagement des routes principales (sauf les autoroutes et routes express à deux chaussées) (Guide technique) (p. 143). Bagnaux, France: SETRA.
- Gibson, J. J., & Crooks, L. E. (1938). A theoretical field-analysis of automobile driving. *The American Journal of Psychology*, 51(3), 453-471. <https://doi.org/10.2307/1416145>
- GIRÉDÉP. (2012). Code de déontologie des psychologues - France. (p. 10). Consulté à l'adresse www.sfpsy.org/Code-de-deontologie-des.html
- Godley, S. T. (1999). A driving simulator investigation of perceptual countermeasures to speeding (Thèse de doctorat). Monash University, Department of Psychology, Victoria, Australie.
- Godley, S. T., Triggs, T. J., & Fildes, B. N. (2002). Driving simulator validation for speed research. *Accident Analysis & Prevention*, 34(5), 589-600. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00056-2)
- Godley, S. T., Triggs, T. J., & Fildes, B. N. (2004). Perceptual lane width, wide perceptual road centre markings and driving speeds. *Ergonomics*, 47(3), 237-256. <https://doi.org/10.1080/00140130310001629711>
- Govindappa, V. (2017). Segmentation of dynamic and static objects using 2D Lidar (Master Thesis). ESIGELEC, France.
- Green, P. (2012). Using standards to improve the replicability and applicability of driver interface research. In *Proceedings of the 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (p. 15–22). New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/2390256.2390258>
- Green, P., Lin, B., & Bagian, T. (1994). Driver workload as a function of road geometry: a pilot experiment (No. UMTRI-93-39/GLCTTR 22-91/01) (p. 54). Ann Arbor, Michigan, USA: University of Michigan Transportation Research Institute. Consulté à l'adresse <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/1046/86296.0001.001.pdf?sequence=2>
- Green, P., Williams, M., Hoekstra, E., George, K., & Wen, C. (1993). Initial on-the-road tests of driver information system interfaces : Route guidance, traffic information, vehicle monitoring, and IVSAWS (No. UMTRI-93-32) (p. 161). Ann Arbor, Michigan, USA: The University of Michigan, Transportation Research Institute (UMTRI). Consulté à l'adresse <http://umich.edu/~driving/publications/UMTRI-93-32.pdf>
- Helander, M. (1978). Drivers' steering behavior during traffic events: a case of perceptual tropism? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 20(6), 681-690. <https://doi.org/10.1177/001872087802000606>
- Jamson, H. (2011). 12 : Cross-platform validation issues. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird, & J. D. Lee (Éd.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology* (1^{re} éd., p. 12-1-12-13). CRC Press Inc.
- Jamson, S. L., & Jamson, A. H. (2010). The validity of a low-cost simulator for the assessment of the effects of in-vehicle information systems. *Safety Science*, 48(10), 1477-1483. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.07.008>
- Kaptein, N., Theeuwes, J., & Van Der Horst, R. (1996). Driving simulator validity: Some considerations. *Transportation Research Record*, 1550(1), 30-36. <https://doi.org/10.3141/1550-05>

- Kemeny, A., & Panerai, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(1), 31-37. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)00011-6)
- Klee, H., Bauer, C., Radwan, E., & Al-Deek, H. (1999). Preliminary Validation of Driving Simulator Based on Forward Speed. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1689, 33-39. <https://doi.org/10.3141/1689-05>
- Knapper, A., Christoph, M., Hagenzieker, M., & Brookhuis, K. (2015). Comparing a driving simulator to the real road regarding distracted driving speed. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15(2), 205-225.
- Lewis-Evans, B., & Charlton, S. G. (2006). Explicit and implicit processes in behavioural adaptation to road width. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 610-617. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.12.005>
- Liu, S., Wang, J., & Fu, T. (2016). Effects of lane width, lane position and edge shoulder width on driving behavior in underground urban expressways: A driving simulator study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph13101010>
- McAvoy, D. S., Schattler, K. L., & Datta, T. K. (2007). Driving simulator validation for nighttime construction work zone devices. In *Proceedings of the 86th Annual Meeting Transportation Research Board*, Washington, D.C., USA.
- McLean, J. R., & Hoffman, E. R. (1972). The effects of lane width on driver steering control and performance. In *Proceedings of the Sixth Conference of the Australian Road Research Board* (Vol. 6, p. 418-440).
- Mecheri, S., Rosey, F., & Lobjois, R. (2017). The effects of lane width, shoulder width, and road cross-sectional reallocation on drivers' behavioral adaptations. *Accident Analysis & Prevention*, 104, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.019>
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models : what do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Éd.), *Human behavior and Traffic Safety* (p. 485-520). New-York, NY, USA: Plenum Press.
- Middleton, G. (1976). Marking of edge lines on narrow pavements. *Australian Road Research*, 6(4). Consulté à l'adresse <https://trid.trb.org/view.aspx?id=59582>
- Missouri State Highway Department. (1969). Some effects of pavement edge lines on driver behavior (No. 68-5) (p. 25). Missouri State highway Department. Consulté à l'adresse https://library.modot.mo.gov/RDT/reports/MCHRP/MCHRP69-10_reduced.pdf
- Mullen, N., Charlton, J. L., Devlin, A., & Bédard, M. (2011). 13 : Simulator validity : Behaviors observed on the simulator and on the road. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird, & J. D. Lee (Éd.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology* (1^{re} éd., p. 13-1-13-18). CRC Press Inc.
- Park, G. D., Allen, R. W., Rosenthal, T. J., & Fiorentino, D. (2005). Training effectiveness: How does driving simulator fidelity influence driver performance? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 49(25), 2201-2205. <https://doi.org/10.1177/154193120504902518>
- Petit, G., Paillard, M., Cerezo, V., Lesbats, D., Patte, L., Durand, J.-F., ... Fosse, Y. (2011). Relevé de la géométrie des tracés routiers (Méthodes d'essai des lpc No. 84) (p. 32).
- Ranney, T. A., & Gawron, V. J. (1986). The effects of pavement edgelines on performance in a driving simulator under sober and alcohol-dosed conditions. *Human Factors*, 28(5), 511-525. <https://doi.org/10.1177/001872088602800502>
- Reed, M. P., & Green, P. A. (1999). Comparison of driving performance on-road and in a low-cost simulator using a concurrent telephone dialling task. *Ergonomics*, 42(8), 1015-1037. <https://doi.org/10.1080/001401399185117>

- Reimer, B., D'Ambrosio, L. A., Coughlin, J. E., Kafrisen, M. E., & Biederman, J. (2006). Using self-reported data to assess the validity of driving simulation data. *Behavior Research Methods*, 38(2), 314-324.
- Riemersma, J., van der Horst, A. R. A., Hoekstra, W., Alink, G., & Otten, N. (1990). The validity of a driving simulator in evaluating speed-reducing measures. *Traffic engineering and control*, 31(7-8), 416-420.
- Rosey, F. (2015). PROFIL - Profil de la route comme facteur d'influence de la lisibilité de l'infrastructure et son effet sur la trajectoire - Etat de l'art (p. 23). Le Grand-Quévilly, France: Cerema, Direction Territoriale Normandie-Centre.
- Rosey, F., & Auberlet, J.-M. (2014). Driving simulator configuration impacts drivers' behavior and control performance: An example with studies of a rural intersection. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, Part A, 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.09.009>
- Rosey, F., Auberlet, J.-M., Moisan, O., & Dupré, G. (2009). Impact of narrower lane width : Comparison between fixed-base simulator and real data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2138, 112-119. <https://doi.org/10.3141/2138-15>
- Rushton, S. K., Harris, J. M., Lloyd, M. R., & Wann, J. P. (1998). Guidance of locomotion on foot uses perceived target location rather than optic flow. *Current Biology*, 8(21), 1191-1194. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(07\)00492-7](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(07)00492-7)
- Santos, J., Merat, N., Mouta, S., Brookhuis, K., & de Waard, D. (2005). The interaction between driving and in-vehicle information systems: Comparison of results from laboratory, simulator and real-world studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2005.04.001>
- Shechtman, O. (2010). Validation of driving simulators. *Advances in Transportation Studies*, (Special Issue 2010).
- Smith, G. (1976). Pavement edge marking: purposes, effects and warrant requirements - a literature review (Internal Report No. AIR 1013-1). Australian Road Research Board. Consulté à l'adresse <http://114.111.144.247/Presto/content/Detail.aspx?q=KFJlcG9ydHMuQXV0aG9yOihTbWI0aCkplEFOR-CAoUmVwb3J0cy5SZXBvcnRfTnVtYmVyOigxMDEzLTEpKSBBTkQgKFJlcG9ydHMuRGF0ZV9Db21wbGV0ZWQ6KDE5NzYpKQ==&ctID=NmQ5ZmY0YWQtNTc4NS00YzZiLTk3MTItNjEzYWQxZTgyMTRl&rID=NDUzOA==&qcf=NmQ5ZmY0YWQtNTc4NS00YzZiLTk3MTItNjEzYWQxZTgyMTRl&ph=VHJ1ZQ==&bckToL=VHJ1ZQ==&>
- Society of Automotive Engineers. (2015). Operational definitions of driving performance measures statistics (SAE No. J2944) (p. 171). SAE International. Consulté à l'adresse <https://standards.browntechnical.org/products/sae-j2944>
- Steyvers, F. J. J. M., & De Waard, D. (2000). Road-edge delineation in rural areas: effects on driving behaviour. *Ergonomics*, 43(2), 223-238. <https://doi.org/10.1080/001401300184576>
- Stutts, J. C., Feaganes, J., Rodgman, E., Hamlett, C., Meadows, T., Reinfurt, D., ... Staplin, L. (2003). Distraction in everyday driving (p. 104). Washington, D.C., USA: AAA Foundation for Traffic Safety. Consulté à l'adresse [https://www.aaafoundation.org/sites/default/files/DistractionsInEverydayDriving%20\(1\).pdf](https://www.aaafoundation.org/sites/default/files/DistractionsInEverydayDriving%20(1).pdf)
- Summala, H., Leino, M., & Vierimaa, J. (1981). Drivers' steering behavior when meeting another car: The case of perceptual tropism revisited. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 23(2), 185-189. <https://doi.org/10.1177/001872088102300206>

- Sun, X., & Tekell, D. (2005). Impact of edge lines on safety of rural two-lane highways (Final Report No. 414) (p. 98). Lafayette, LA, USA: Louisiana Transportation Research Center. Consulté à l'adresse <https://trid.trb.org/view.aspx?id=781400>
- Thomas, I. L. (1958). Pavement edge lines on twenty-four foot surfaces in Louisiana. Highway Research Board bulletin, 178, 12-20.
- Törnros, J. (1998). Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel—a validation study. *Accident Analysis & Prevention*, 30(4), 497-503. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00099-7)
- Triggs, T. J. (1980). The influence of oncoming vehicles on automobile lateral position. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 22(4), 427-433. <https://doi.org/10.1177/001872088002200404>
- Triggs, T. J. (1997). The effect of approaching vehicles on the lateral position of cars travelling on a two-lane rural road. *Australian Psychologist*, 32(3), 159–163. <https://doi.org/10.1080/00050069708257375>
- Tsyganov, A. R., Machemehl, R. B., Warrenchuk, N. M., & Wang, Y. (2006). Before-after comparison of edgeline effects on rural two-lane highways (No. 0-5090-2) (p. 105). Austin, Texas, USA: Center for Transportation Research, The University of Texas. Consulté à l'adresse http://www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/0_5090_2.pdf
- van der Horst, R., & de Ridder, S. (2007). Influence of roadside infrastructure on driving behavior: Driving simulator study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2018, 36-44. <https://doi.org/10.3141/2018-06>
- van der Zwaag, M. D., Dijksterhuis, C., de Waard, D., Mulder, B. L. J. M., Westerink, J. H. D. M., & Brookhuis, K. A. (2012). The influence of music on mood and performance while driving. *Ergonomics*, 55(1), 12-22. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.638403>
- van Driel, C. J. G., Davidse, R. J., & van Maarseveen, M. F. A. M. (2004). The effects of an edgeline on speed and lateral position: a meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 36(4), 671-682. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00090-3](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00090-3)
- Wade, M. G., & Hammond, C. (1998). Simulator validation evaluating driver performance in simulation and the real world (No. MN/RC-1998-28). Minneapolis, MN, USA: Minnesota Department of Transportation.
- Wang, D. Z. (2014). Laser-based detection and tracking of dynamic objects (PhD Thesis). University of Oxford, Oxford, United-Kingdom.
- Wiesenthal, D. L., Hennessy, D. A., & Totten, B. (2000). The influence of music on driver stress. *Journal of Applied Social Psychology*, 30(8), 1709-1719. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2000.tb02463.x>
- Wilkie, R. M., & Wann, J. P. (2002). Driving as night falls: the contribution of retinal flow and visual direction to the control of steering. *Current Biology: CB*, 12(23), 2014-2017.
- Wilkie, R., & Wann, J. (2003). Controlling steering and judging heading: retinal flow, visual direction, and extraretinal information. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 29(2), 363-378.
- Yan, X., Abdel-Aty, M., Radwan, E., Wang, X., & Chilakapati, P. (2008). Validating a driving simulator using surrogate safety measures. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 274-288. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.06.007>

7. Annexes

7.1. Tâche 2.2.a : Formulaire de consentement



Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire de Saint-Brieuc

Groupe Exploitation et Sécurité Routières
ER « Comportement de l'Usager et Infrastructures »

Contacts : Lara Désiré (DterOuest)
lara.desire@cerema.fr
poste 354, bureau A121 ; 06 66 32 94 17

**Formulaire de
consentement libre,
éclairé et exprès**

Comportement du conducteur dans différentes situations de conduite sur un parcours réel (C16IS0257-Tâche22a)

Vous êtes invité-e à participer à une étude de recherche visant à observer les comportements de conducteurs et à analyser l'impact sur ces comportements de différents environnements réels de route.

Si vous acceptez de participer, nous vous demanderons de réaliser les trois activités suivantes :

- **Questionnaire général** : Dans un premier temps, nous vous demanderons de remplir un questionnaire en ligne afin de recueillir des informations démographiques générales.
- **Conduite sur un parcours réel** : Dans un deuxième temps, nous allons vous demander de conduire le véhicule instrumenté VOICIE sur un circuit réel pré-déterminé de 75 km soit une durée d'environ 1h15. L'itinéraire vous sera présenté avant le départ sur une carte. Pendant le parcours, il vous sera indiqué oralement par un navigateur GPS. Nous vous demanderons de conduire comme vous le feriez habituellement avec votre voiture. L'utilisation du limiteur ou du régulateur de vitesse n'est pas possible. Par contre, si vous avez l'habitude d'écouter la radio pendant la conduite, vous êtes autorisé à le faire. Un expérimentateur sera installé à l'arrière du véhicule pour s'assurer du bon déroulement. Pour assurer une bonne qualité de recueil des données, il vous sera demandé de ne pas discuter avec l'expérimentateur pendant la période de conduite. Néanmoins, en cas d'incertitude, il ne faudra pas hésiter à le solliciter.
- **Familiarité du parcours** : Dans un dernier temps, nous vous demanderons de renseigner votre niveau de familiarité avec le parcours sur une carte.

L'expérience se déroulera dans un bureau du Cerema Ouest – Département Laboratoire de Saint-Brieuc et sur différentes portions du réseau routier dans le département des Côtes d'Armor. Elle durera, explications et pauses incluses, environ 2h15.

Il n'existe pas de risques particuliers liés à cette expérimentation, en dehors de ceux liés à l'activité de conduite automobile. En cas d'inconfort, merci de l'indiquer très rapidement à l'expérimentateur.

Toutes les données vous concernant seront traitées de manière confidentielle.

Votre participation se fait dans le cadre professionnel et le temps consacré à cette étude sera donc inclus dans le temps de travail effectif.

A la fin de l'étude, vous recevrez, à titre de dédommagement, des tickets cadeaux pour un montant total maximum de 45 €.

Votre participation est complètement volontaire et vous êtes totalement libre d'arrêter votre participation à n'importe quel moment, sans préavis. En cas d'arrêt, vous recevrez un dédommagement au prorata de votre participation.

Puisque d'autres collègues sont susceptibles de participer à cette expérience, merci de ne pas discuter de cette étude tant qu'elle n'est pas terminée.



Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ouest / DLRB : 5 rue Jules Vallès - 22015 Saint-Brieuc cedex - Tél : +33(0)2 96 75 93 00

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public : Siret 130 018 310 00 248 – TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 www.cerema.fr

Consentement

Je soussigné-e
résidant.....
déclare accepter de participer à la recherche organisée par Lara Désiré (Cerema Ouest),
et intitulée :

« Comportement du conducteur dans différentes situations de conduite sur un parcours réel »

dans les conditions précisées ci-dessous :

J'ai reçu et bien compris les informations présentées dans la note d'information qui m'a été remise. Le responsable de la recherche, ou l'un de ses collaborateurs m'a précisé que :

Je suis libre d'accepter ou de refuser, ainsi que d'arrêter à tout moment, ma participation sans encourir aucune responsabilité, et sans que cette décision n'ait d'incidence sur mes relations avec ce chercheur.

Au cours de cette expérience, j'accepte que soient recueillies des données chronométriques sur mes commandes au volant ainsi que des données vidéos et audios. Je comprends que les informations recueillies sont strictement confidentielles et à usage exclusif des investigateurs concernés.

J'accepte de ne pas discuter de cette étude avec mes collègues tant qu'elle n'est pas terminée.

Je pourrai à tout moment demander des informations au responsable de la recherche et je pourrai exercer mon droit d'accès, de rectification ou d'opposition. J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette étude puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet d'un traitement informatisé non nominatif par le Cerema Ouest. J'ai bien noté que les droits prévus par la loi « informatique et libertés » s'exercent à tout moment auprès du Cerema Ouest.

La publication des résultats de la recherche ne comportera aucun résultat individuel permettant de m'identifier.

Si je le désire, je peux être tenu au courant des résultats globaux de la recherche en m'adressant à Mme Désiré ou à l'un de ses collaborateurs.

Ma participation se fait dans le cadre professionnel. Le temps que je consacre à cette étude est comptabilisé dans mon temps de travail effectif.

J'ai pris note que le dédommagement s'effectue par la remise de tickets cadeaux pour un montant total maximum de 45 €. Si je décide d'arrêter avant la fin, je recevrai un dédommagement en tickets cadeaux au prorata de ma participation.

Mon consentement ne décharge pas l'organisateur de la recherche de sa responsabilité. Je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Signé en deux exemplaires le

Nom du volontaire :

Signature du volontaire

Nom de l'expérimentateur :

Signature de l'expérimentateur :

7.2. Tâche 2.2.a : Questionnaire portant sur les informations démographiques générales

LimeSurvey - C16IS0257-T22a

<http://localhost/limesurvey/admin/admin.php?action=showprintablesur...>

C16IS0257-T22a



Direction territoriale Ouest

Il y a 38 questions dans ce questionnaire

Bloc 0

**Pour garantir l'anonymat et la confidentialité des données,
merci de renseigner le code du participant :**

1 Indiquez le code du participant :

*

Veillez écrire votre réponse ici :

Bloc 0-accueil

2



Direction territoriale Ouest

Madame, Monsieur,

Vous participez à une expérimentation dont l'objectif est d'étudier le comportement des conducteurs et d'analyser l'impact sur ces comportements de différents environnements réels de route.

Avant de compléter la phase de conduite sur un parcours réel, nous vous demandons de répondre aux questions qui suivent afin de mieux vous connaître.

Nous vous garantissons la confidentialité de vos réponses.

Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses, c'est VOTRE avis qui nous intéresse.

Merci de votre participation.

Bloc 1

Pour commencer et afin de mieux vous connaître, quelques questions générales :

3 Vous êtes ? *

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- une femme
 un homme

4 Si vous êtes une femme, êtes vous enceinte ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
*((G0003.NAOK == "F")

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

5**Quel est votre âge ?**

*Indiquez votre âge ce jour (sans arrondir) **

Veillez écrire votre réponse ici :

ans

Bloc 2

Quelques questions concernant votre vue :

6 Votre vision présente-t-elle le ou les troubles suivants ? *

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent :

- Aucun trouble
- Je ne sais pas
- Myopie
- Hypermétropie
- Astigmatisme
- Presbytie
- Daltonisme
- Autre(s)

7 Devez-vous utiliser un dispositif de correction de la vue (lunettes ou lentilles) tout au long de la journée ou pour certaines activités? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
- Non

8 Quel est le dispositif de correction de votre vue que vous utilisez le plus souvent pour conduire ? *Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
((Q0007.NAOK == "Y"))

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Je n'utilise jamais de dispositif de correction pour conduire
- Le plus souvent, j'utilise des **lunettes** pour conduire
- Le plus souvent, j'utilise des **lentilles** pour conduire

9 Quel est le dispositif de correction de votre vue que vous utiliserez pour conduire pendant l'expérience ?Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
((Q0008.NAOK == "LENTF" or Q0008.NAOK == "LUNET"))

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Je n'utiliserai aucun dispositif de correction pour conduire pendant l'expérience
- J'utiliserai des **lunettes** pour conduire pendant l'expérience
- J'utiliserai des **lentilles** pour conduire pendant l'expérience

Bloc 3

Quelques questions concernant votre participation à des expériences de conduite sur parcours réel avec un véhicule instrumenté :

10 Avez-vous déjà participé à des expériences dans lesquelles vous deviez conduire sur un parcours réel avec un véhicule instrumenté ? *

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
- Non

11 Si oui, combien de fois ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
*((G0010.NAOK == "Y"))

Veillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- 1 fois
- 2 fois
- entre 3 et 5 fois
- entre 6 et 10 fois
- plus de 10 fois

Bloc 4

Quelques questions concernant votre expérience de la conduite :

12 Quelle est l'année d'obtention de votre permis de conduire auto (permis B) ? *

Veuillez écrire votre réponse ici :

AAAA :

13 Lors de l'apprentissage de la conduite (permis B), avez-vous suivi la filière de l'apprentissage anticipé de la conduite en conduite accompagnée ? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

14**Estimez votre nombre d'années de conduite automobile (voiture, scooter et également moto - permis B et permis A).****Incluez les années réalisées en conduite accompagnée, où vous avez conduit uniquement en moto par exemple, ou excluez les périodes où vous n'avez pas conduit du tout. ***

Veuillez écrire votre réponse ici :

années

15**En dehors du permis voiture (permis B), possédez-vous un autre permis ?**

*

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
 Non

16**Si oui, le(s)quel(s) ?**

*

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° ((Q0015.NAOK == "Y"))

Veuillez choisir toutes les réponses qui conviennent :

- Permis A / A1 / A2 (moto)
 Permis BE (voiture+remorque)
 Permis C / CE / C1 / C1E / D / DE / D1 / D1E (poids-lourds ou car)

17 Quelle est l'année d'obtention de votre permis A / A1 / A2 (permis moto) ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
*((Q0016_A.NAOK=="Y") and (Q0015.NAOK=="Y"))

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Je ne sais pas
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012
- 2011
- 2010
- 2009
- 2008
- 2007
- 2006
- 2005
- 2004
- 2003
- 2002
- 2001
- 2000
- 1999
- 1998
- 1997
- 1996
- 1995
- 1994
- 1993
- 1992
- 1991
- 1990
- 1989
- 1988
- 1987
- 1986
- 1985
- 1984
- 1983
- 1982
- 1981
- 1980
- 1979
- 1978
- 1977
- 1976
- 1975
- 1974
- 1973
- 1972
- 1971
- 1970
- 1969
- 1968
- 1967
- 1966
- 1965
- 1964
- 1963
- 1962
- 1961

- 1960
- 1959
- 1958
- 1957
- 1956
- 1955
- 1954
- 1953
- 1952
- 1951
- 1950

18**Quelle est l'année d'obtention de votre permis BE (permis voiture+remorque) ?**

*

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
*((Q0016_EB.NAOK == "Y") and (Q0015.NAOK == "Y"))

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Je ne sais pas
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012
- 2011
- 2010
- 2009
- 2008
- 2007
- 2006
- 2005
- 2004
- 2003
- 2002
- 2001
- 2000
- 1999
- 1998
- 1997
- 1996
- 1995
- 1994
- 1993
- 1992
- 1991
- 1990
- 1989
- 1988
- 1987
- 1986
- 1985
- 1984
- 1983
- 1982
- 1981
- 1980
- 1979
- 1978
- 1977
- 1976
- 1975
- 1974
- 1973
- 1972
- 1971
- 1970
- 1969
- 1968
- 1967
- 1966
- 1965
- 1964
- 1963

- 1962
- 1961
- 1960
- 1959
- 1958
- 1957
- 1956
- 1955
- 1954
- 1953
- 1952
- 1951
- 1950

19**Quelle est l'année d'obtention de votre permis C / CE / C1/ C1E / D / DE / D1 / D1E (permis pour le transport de marchandises et de personnes : permis poids-lourds ou car) ?**

*

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
*((Q0016_D.NAOK == "Y") and (Q0015.NAOK == "Y"))

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Je ne sais pas
- 2016
- 2015
- 2014
- 2013
- 2012
- 2011
- 2010
- 2009
- 2008
- 2007
- 2006
- 2005
- 2004
- 2003
- 2002
- 2001
- 2000
- 1999
- 1998
- 1997
- 1996
- 1995
- 1994
- 1993
- 1992
- 1991
- 1990
- 1989
- 1988
- 1987
- 1986
- 1985
- 1984
- 1983
- 1982
- 1981
- 1980
- 1979
- 1978
- 1977
- 1976
- 1975
- 1974
- 1973
- 1972
- 1971
- 1970
- 1969
- 1968
- 1967
- 1966
- 1965
- 1964

- 1963
- 1962
- 1961
- 1960
- 1959
- 1958
- 1957
- 1956
- 1955
- 1954
- 1953
- 1952
- 1951
- 1950

20 Pratiquez-vous la conduite en scooter ou en moto ? *

Veuillez sélectionner une seule des propositions suivantes :

- Oui
- Non

21 Combien de kilomètres faites-vous en moyenne par an tous véhicules confondus (voiture, moto et scooter) ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
 * ((Q0020.NAOK == "Y"))

Veuillez écrire votre réponse ici :

Je fais

km/an tous véhicules confondus.

22 Combien de kilomètres faites-vous en moyenne par an en voiture ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
 * ((Q0020.NAOK == "Y"))

Veuillez écrire votre réponse ici :

Je fais

km/an uniquement en voiture.

23 A quelle fréquence conduisez-vous ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
 * ((Q0020.NAOK == "Y"))

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	moins de 5 fois par an	5 à 11 fois par an	1 à 2 fois par mois	3 à 4 fois par mois	2 à 3 fois par semaine	4 à 6 fois par semaine	tous les jours
En voiture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En moto ou scooter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24 Combien de kilomètres faites-vous en moyenne par an en voiture ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
 * ((Q0020.NAOK == "N"))

Veuillez écrire votre réponse ici :

Je fais

km/an en voiture

25 A quelle fréquence conduisez-vous en voiture ? *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
*((00020.NAOK == "N"))

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

moins de 5
fois par an

5 à 11 fois
par an

1 à 2 fois par
mois

3 à 4 fois par
mois

2 à 3 fois par
semaine

4 à 6 fois par
semaine

tous les jours

Bloc 5**Quelques questions concernant votre pratique de la conduite tous véhicules motorisés confondus (voiture, scooter, moto)**

26

A quelle fréquence conduisez-vous sur ces différents réseaux routiers ? *

Choisissez la réponse appropriée pour chaque élément :

	jamais	moins de 5 fois par an	5 à 11 fois par an	1 à 2 fois par mois	3 à 4 fois par mois	2 à 3 fois par semaine	4 à 6 fois par semaine	tous les jours
Agglomération	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Petites routes sinueuses : campagne, montagne...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bidirectionnelles : départementales ou nationales	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chaussées séparées : voies rapides, rocadés, nationales ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autoroutes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

27 Indiquez le nombre de contravention(s) reçue(s) au cours des 3 dernières années : *

Veillez écrire votre(vos) réponse(s) ici :

liée(s) à la vitesse

autres que celles liée(s) à la vitesse (en dehors des infractions liées au stationnement)

28 Indiquez le nombre d'accidents matériels (tôle froissée, même sans déclaration à l'assurance) ou corporels au cours des 3 dernières années : *

Veillez écrire votre(vos) réponse(s) ici :

pour le(s)quel(s) vous n'étiez pas en tort

pour le(s)quel(s) vous étiez responsable

Bloc 6

29

Merci de votre participation.

Veillez rejoindre l'expérimentateur.

N'appuyez pas sur le bouton "SUIVANT"

Bloc 7

Bilan avec le participant

30

Conducteur ayant suivi la conduite accompagnée :

2 ans de probatoire + 1 année d'expérience donc permis obtenu avant septembre 2013.

Les participants ayant obtenu leur permis en septembre 2013, en 2014, 2015 ou 2016 ne peuvent pas participer.

*

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° ((Q0012.NAOK >= "2013") and (Q0013.NAOK == "Y"))

Veillez écrire votre réponse ici :

31 Conducteur n'ayant pas suivi la conduite accompagnée :

3 ans de probatoire + 1 année d'expérience donc permis obtenu avant septembre 2012.

Les participants ayant obtenu leur permis en septembre 2012, en 2013, 2014, 2015 ou 2016 ne peuvent pas participer.

*

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° ((Q0012.NAOK >= "2012") and (Q0013.NAOK == "N"))

Veillez écrire votre réponse ici :

32

Age inférieur à 21 ans.

Le participant doit avoir au moins 21 ans pour pouvoir participer car il n'est pas possible d'avoir l'expérience de conduite requise en dessous de 21 ans.

*

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° (((! is_empty(Q0005.NAOK) && (Q0005.NAOK < "21"))))

Veillez écrire votre réponse ici :

33 Age supérieur à 64 ans *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° ((Q0005.NAOK > "64"))

Veillez écrire votre réponse ici :

34 Conducteur de scooter ou moto dont la conduite tous véhicules confondus est inférieure à 4000 km/an *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° (((! is_empty(Q0021.NAOK) && (Q0021.NAOK < "4000"))))

Veillez écrire votre réponse ici :

35 Conducteur de scooter ou moto dont la conduite en voiture est inférieure à 1000 km/an *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° (((! is_empty(Q0022.NAOK) && (Q0022.NAOK < "1000"))))

Veillez écrire votre réponse ici :

36 Conducteur NE CONDUISANT PAS en scooter ou en moto dont la conduite en voiture est inférieure à 4000 km/an *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° (((! is_empty(Q0024.NAOK) && (Q0024.NAOK < "4000"))))

Veillez écrire votre réponse ici :

37

Troubles de la vision autre *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° ((G0006_OTHER.NAOK == "Y"))

Veuillez écrire votre réponse ici :

38 Femme enceinte *

Répondre à cette question seulement si les conditions suivantes sont réunies :
° ((G0004.NAOK == "Y"))

Veuillez écrire votre réponse ici :

C16IS0257-T22a_Q01-IP



Direction territoriale Ouest

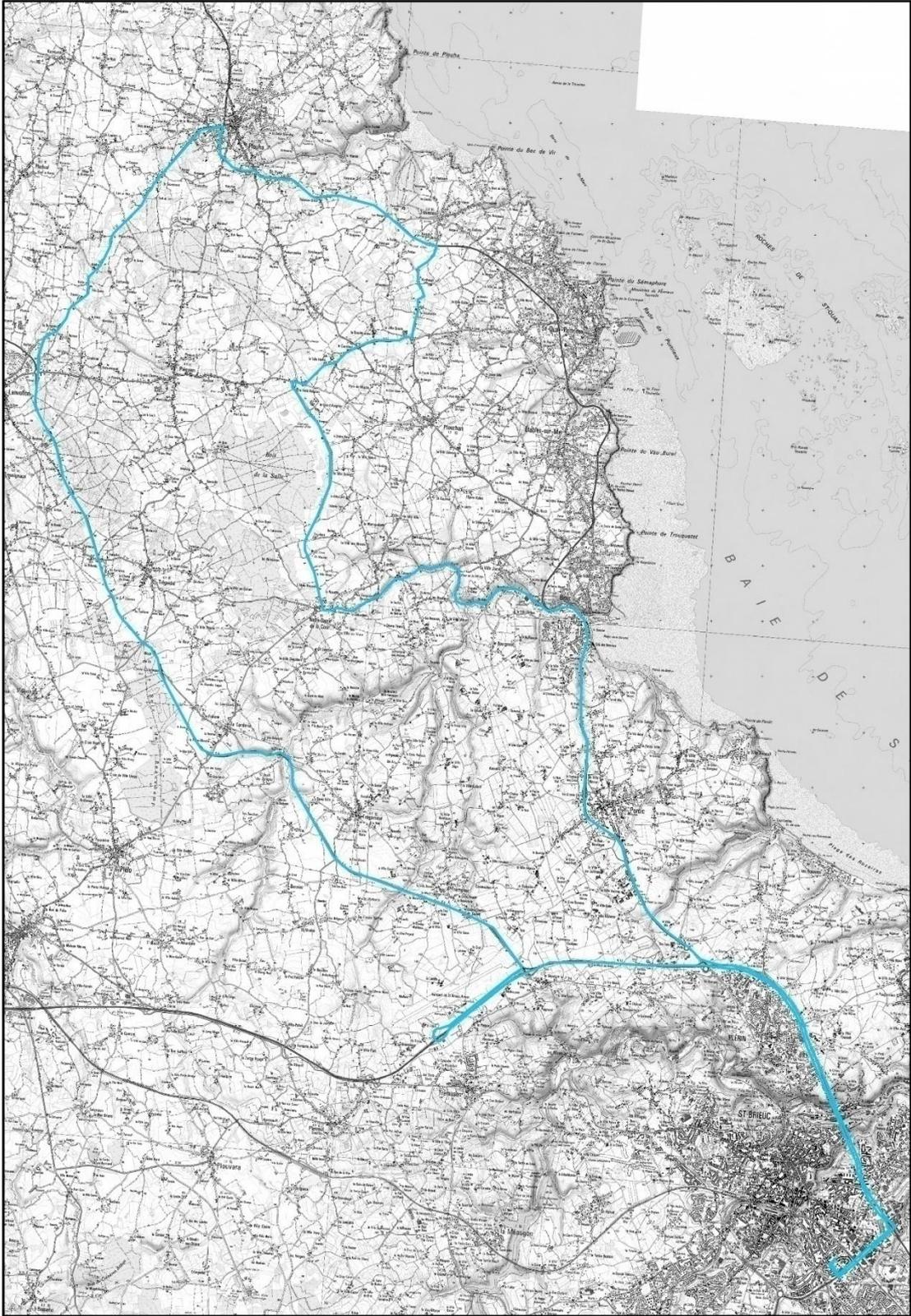
Merci de votre participation.
Veillez rejoindre l'expérimentateur.

FIN

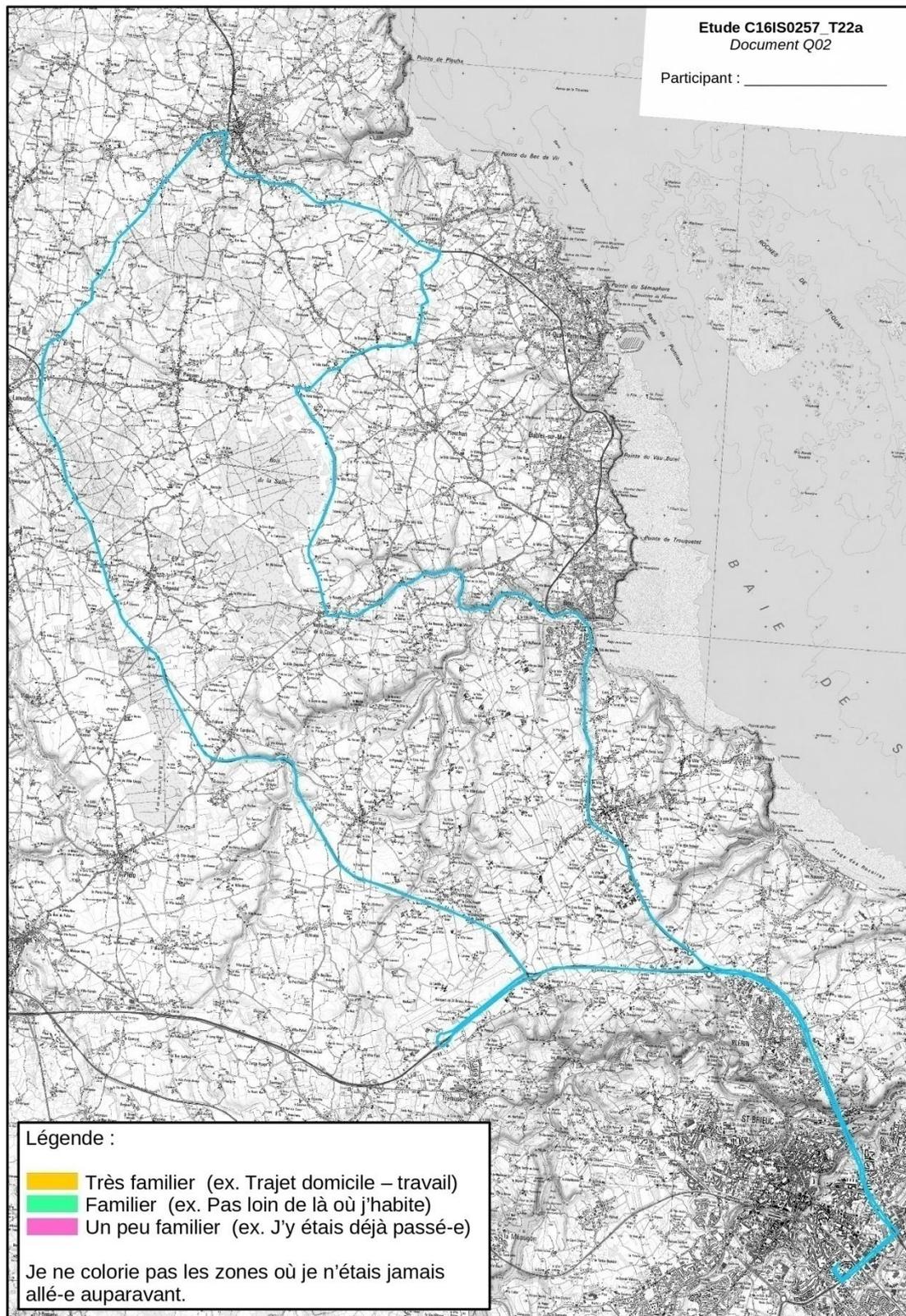
01/01/1970 – 01:00

Envoyer votre questionnaire.
Merci d'avoir complété ce questionnaire.

7.3. Tâche 2.2.a : Carte utilisée pour la présentation du circuit au participant



7.4. Tâche 2.2.a : Document fourni pour le recueil de la familiarité du circuit





Direction territoriale Ouest
Département Laboratoire de Saint-Brieuc

Groupe Exploitation et Sécurité Routières
ER « Comportement de l'Usager et Infrastructures »

Contacts : Lara Désiré (DterOuest)
lara.desire@cerema.fr
poste 354, bureau A121 ; 06 66 32 94 17

**Autorisation
d'utilisation d'images**

**Comportement du conducteur
dans différentes situations de conduite sur un parcours réel
(C16IS0257 – Tâche 22a)**

Je, soussigné-e.....
demeurant à

J'ai bien noté-e que je suis filmé-e dans le cadre de l'étude sur le comportement de conduite en situation réelle (référence : C16IS0257 – Tâche 22a) organisée par le groupe ESR et à laquelle je participe ce jour. J'autorise cette équipe à utiliser mon image sans limitation de durée sur une photographie et/ou un support vidéo ou multimédia dans le cadre de communications relatives à cette étude.

Accord Désaccord

Dans le cas où je donne mon accord, cette autorisation vaut, hors utilisations publicitaires (encarts ou spots), pour¹ :

- tous usages internes,
- toute manifestation à caractère technologique, scientifique ou éducatif (y compris conférences, congrès, salons, expositions, « portes ouvertes »),
- des publications de presse écrite,
- des diffusions dans la presse audiovisuelle (y compris émissions spécialisées),
- des supports numériques en ligne ou hors ligne, CD-ROM ou CD photo.

Signé en deux exemplaires.

Fait à, le/...../.....

Signature précédée de la mention « Bon pour accord ».

1 Rayer les mentions qui ne vous conviennent pas.



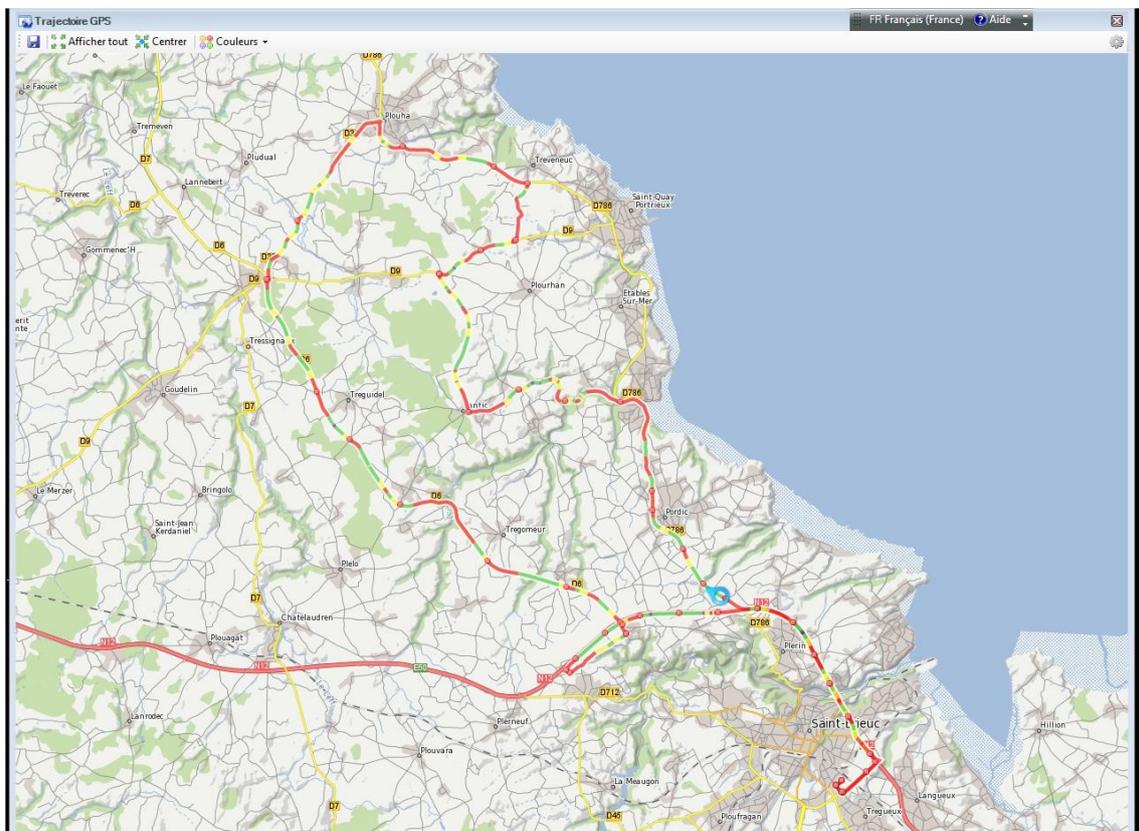
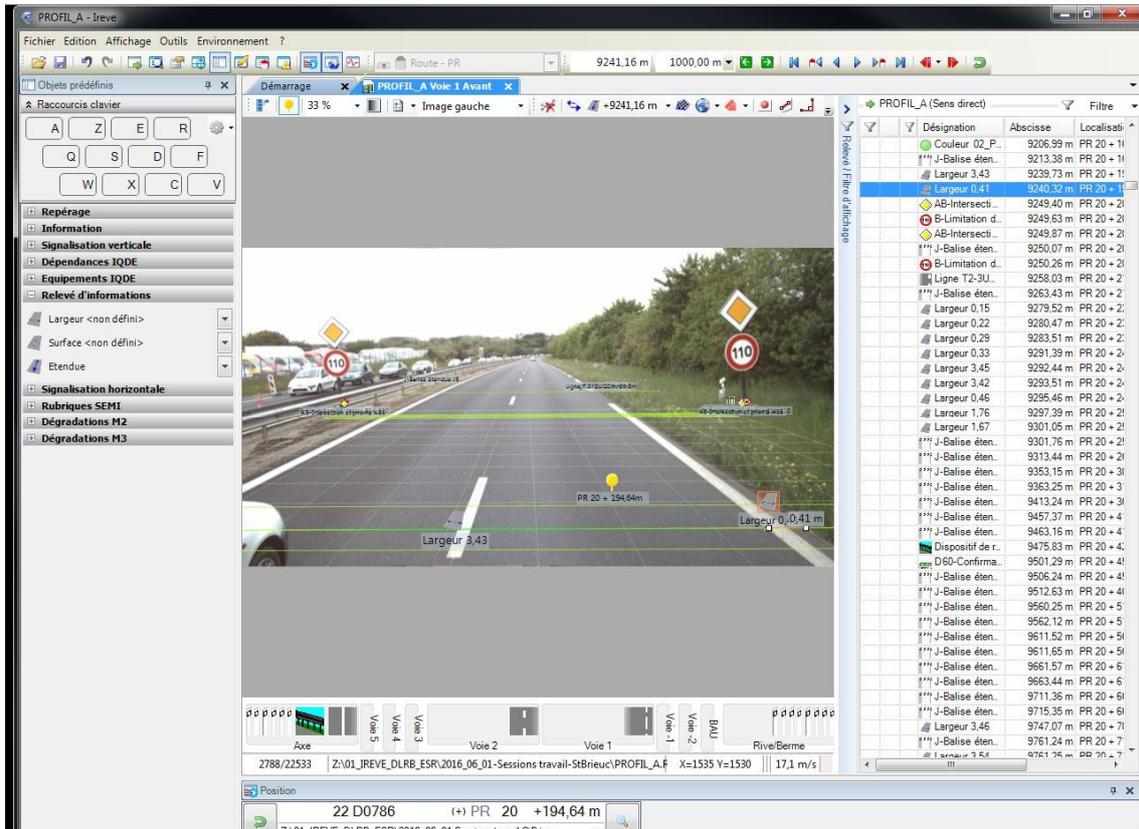
Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Direction territoriale Ouest / DLRB : 5 rue Jules Vallès - 22015 Saint-Brieuc cedex - Tél : +33(0)2 96 75 93 00

Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public : Siret 130 018 310 00 248 – TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 www.cerema.fr

7.6. Tâche 2.2.a : Interface du logiciel IREVE



7.7. Tâche 2.2.a : Interface du logiciel MOGEO

