



**HAL**  
open science

## **RESULTAT R5.3-6. Rapport d'étude T5.3**

Louahdi Khoudour, Pascal Housam Salmane, Josué Manuel Rivera Velázquez,  
Jean-paul Garrigos, Guillaume Saint Pierre

► **To cite this version:**

Louahdi Khoudour, Pascal Housam Salmane, Josué Manuel Rivera Velázquez, Jean-paul Garrigos, Guillaume Saint Pierre. RESULTAT R5.3-6. Rapport d'étude T5.3. Cerema - Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement. 2023. hal-04438931

**HAL Id: hal-04438931**

**<https://hal.science/hal-04438931v1>**

Submitted on 6 Feb 2024

**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.

## RESULTAT R5.3-6

### Rapport d'étude T5.3 Cerema

#### Expérimentation n°12 « Services de mobilité en zone péri-urbaine desserte du dernier kilomètre » (Toulouse Oncopole) Etude bord de voie des comportements des usagers

Version : 0.1

Date de version :



Opération réalisée avec le concours  
des Investissements d'avenir de  
l'Etat confiés à l'ADEME

**PFA** FILIÈRE  
AUTOMOBILE  
À MOBILITÉS

**ALSTOM**

**Cerema**

**COFIROUTE**

**EASY  
MILE**

**École des Ponts  
ParisTech**

**ifp** Energies  
nouvelles

**KEOLIS**

**LAB**

**PSA**  
GROUPE

**RATP**  
GROUPE

**GROUPE  
RENAULT**

**SNCF**

**SystemX**  
INSTITUT DE RECHERCHE  
TECHNOLOGIQUE

**transdev**  
the mobility company

**TwinsWheel**

**Valeo**

**INSTITUT  
VEDECOM**  
DU VEHICULE DÉCARBONÉ ET  
COMMUNICANT ET DE SA MOBILITÉ

## Informations du document

Périmètre de diffusion : Consortium / Public / Administration

Type : Intermédiaire / Final

Date prévue de livraison :

Statut : En cours / Pour révision pairs / Pour révision Bureau / Validé

### Auteurs :

| Resp. du livrable      | Organisation | Rôle dans le projet  |
|------------------------|--------------|--|
| KHOUDOOR Louahdi       | Cerema Occ   | <a href="#">Gestion du projet pour Oncopole et évaluation</a>        |
| SALMANE Pascal         | Cerema Occ   | <a href="#">Développements routine IA + évaluation</a>               |
| RIVERA Josué           | Cerema Occ   | <a href="#">Développements routine IA + évaluation</a>               |
| GARRIGOS Jean-Paul     | Cerema Occ   | <a href="#">Responsable technique du site Oncopole et évaluation</a> |
| SAINT PIERRE Guillaume | Cerema Occ   | <a href="#">Expert sécurité routière et évaluation</a>               |
| Relecteurs             | Organisation |  |
| SUBIRATS Peggy         | Cerema NC    |  |
| CHABANI Azzedine       | Cerema NC    |  |
| COURTOIS Jérémy        | Cerema NC    |  |

### Table de révision :

| Version | Date | Contenu de la modification |
|---------|------|----------------------------|
| 0.1     |      | Draft                      |
|         |      |                            |
|         |      |                            |
|         |      |                            |
|         |      |                            |
|         |      |                            |
|         |      |                            |
|         |      |                            |

## Table des matières

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Informations du document</b> .....   | <b>2</b>                    |
| <b>Table des matières</b> .....   | <b>3</b>                    |
| <b>Table des illustrations et tableaux</b> .....  | <b>4</b>                    |
| <b>Glossaire</b> .....  | <b>6</b>                    |
| <b>Résumé exécutif</b> .....  | <b>7</b>                    |
| <b>Introduction</b> .....   | <b>8</b>                    |
| <b>1. Etat de l’art</b> .....   | <b>10</b>                   |
| <b>2. Descriptif du site d’expérimentation de l’Oncopole</b> .....  | <b>10</b>                   |
| 2.1. Le site d’expérimentation dans sa globalité.....   | 11                          |
| 2.2. Instrumentation mise en œuvre.....   | 12                          |
| 2.2.1. Le réseau de transmission de terrain.....  | 12                          |
| 2.3. La navette autonome utilisée et son itinéraire.....  | 15                          |
| 2.3.1. Le véhicule autonome (VA).....   | 15                          |
| 2.3.2. L’itinéraire emprunté par la navette autonome (VA).....  | 15                          |
| <b>3. Les bases de données et leur acquisition</b> .....  | <b>21</b>                   |
| 3.1. Identification des séquences d’intérêt incluant les interactions AV-UR.....  | 21                          |
| 3.2. Quantité de données stockées et traitées.....  | 21                          |
| 3.3. Utilisation des données GPS pour l’identification des séquences d’intérêt.....   | 23                          |
| 3.4. Séquences d’intérêt obtenues.....  | 24                          |
| <b>4. Le dépouillement des données avec les grilles d’analyse</b> .....   | <b>25</b>                   |
| <b>5. Méthodologie de remplissage des grilles d’analyse</b> .....   | <b>28</b>                   |
| <b>6. Résultats globaux à partir des interactions entre navette autonome et usagers</b> .....                               | <b><a href="#">2930</a></b> |
| 6.1. Analyse quantitative des données d’interaction entre la navette autonome et les autres usagers<br><a href="#">2930</a> |                             |
| 6.2. Variable qualitative comportementale.....  | 40                          |
| 6.2.1. Analyse globale.....   | 40                          |
| 6.2.2. Analyse par zone de surveillance du comportement des usagers vis à vis de la navette ...                             | 41                          |
| 6.3. Synthèse des résultats sur la variable qualitative comportementale.....  | 45                          |
| 6.4. Résultats sur l’évolution temporelle.....  | 45                          |
| <b>7. Conclusion de l’expérimentation et perspectives</b> .....   | <b>46</b>                   |
| 7.1. Limitations de l’expérimentation.....  | 47                          |
| 7.2. Perspectives.....  | 47                          |
| <b>8. Bibliography</b> .....  | <b><a href="#">4847</a></b> |

## **Table des illustrations et tableaux Les figures 39 à 41 sont des tables (Il faut renuméroter les tables) et les mettre ici en tant que table 5, table6....**

|  |                      |
|--|----------------------|
| <b>Figure 1.</b> Site expérimental : Institut de cancérologie "Oncopole" à Toulouse, France. L'image montre l'itinéraire de deux kilomètres (aller-retour) emprunté par la navette (ligne en bleue) ainsi que les trois arrêts de la navette (trois zones en rouge : parking à droite, téléphérique au centre, et entrée de l'hôpital à gauche). ..... | 11                   |
| <b>Figure 2.</b> Zones observées par les 7 caméras bord de voie. Les rectangles colorés montrent les champs de vision correspondant aux caméras. ....  | 12                   |
| <b>Figure 3.</b> Illustration des caméras utilisées sur le site (image à gauche) ainsi que la valise qui contient le système de stockage (image à droite) des vidéos du site de l'Oncopole. ....   | 13                   |
| <b>Figure 4.</b> Schéma général du système de surveillance installé à l'Oncopole. ....   | 13                   |
| <b>Figure 5.</b> Synoptique du réseau Wifi maillé installé à l'Oncopole. ....  | 14                   |
| <b>Figure 6.</b> La Navette EZ10 d'EasyMile déployée sur le site expérimental de l'Oncopole à Toulouse (à gauche), et une photo de celle-ci faisant demi-tour devant l'arrêt de l'entrée de l'hôpital (à droite). ....   | 15                   |
| <b>Figure 7.</b> Trois zones dans lesquelles l'itinéraire de la navette autonome a été divisé : entrée/sortie de l'hôpital (côté gauche, en jaune), zone en ligne droite (centre, en bleu), et zone tournante (côté droit, en rouge). ....   | 16                   |
| <b>Figure 8.</b> Zone entrée/sortie de l'hôpital Oncopole, surveillée par les caméras 1 (à gauche) et 2 (à droite). La caméra 1 ne sera pas exploitée pour les raisons citées précédemment. Zone principalement fréquentée par des piétons. ....   | 17                   |
| <b>Figure 9.</b> Zone en ligne droite surveillée par les caméras 3 (en haut à gauche), 5 (en haut à droite) et 6 (en bas à gauche). Zone principalement fréquentée par des piétons et des cyclistes. ....  | 17                   |
| <b>Figure 10.</b> Zone giratoire surveillée par les caméras 4 (à gauche, arrivée au giratoire) et 7 (à droite, vue de dessus du giratoire). Cette zone est très fréquentée par des piétons, cyclistes, véhicules personnels et véhicules de transport en commun. ....  | 17                   |
| <b>Figure 11.</b> Passage piéton avant le giratoire (direction parking). Sur l'image, vous pouvez voir comment la navette emprunte momentanément le chemin piétonnier avant de rejoindre le giratoire. ....  | 18                   |
| <b>Figure 12.</b> Nombre et types d'utilisateurs en interaction identifiés par la caméra. ....   | 19                   |
| <b>Figure 13.</b> En raison d'un changement dans les itinéraires initialement prévus dans le projet, les données enregistrées par la caméra 1 ont été omises pour cette étude. ....  | 20                   |
| <b>Figure 14.</b> Vue aérienne du site expérimental et de la station du téléphérique à l'Oncopole. Image prise depuis l'une des cabines du téléphérique. ....  | <a href="#">2021</a> |
| <b>Figure 15.</b> Nombre total d'heures de vidéo (axe horizontal) par caméra (axe vertical) et mois (couleur) enregistrées pendant la période choisie pour l'analyse. ....   | <a href="#">2223</a> |
| <b>Figure 16.</b> Navette dans le champ de vision d'une caméra. ....   | 23                   |
| <b>Figure 17.</b> Utilisation des données GPS (de la DashCam) et du champ de vision des caméras bord de voie (coordonnées latitude et longitude) pour obtenir les séquences d'intérêt à partir des vidéos enregistrées. ....   | 24                   |
| <b>Figure 18.</b> Séquences d'intérêt (en nombre d'heures) extraites par caméra. ....  | 25                   |
| <b>Table 1.</b> Tableau utilisé pour enregistrer l'évaluation visuelle des scénarios. ....   | 26                   |
| <b>Table 2.</b> Dictionnaire des interactions pour les zones : Entrée de l'hôpital, ligne droite entre l'hôpital et le parking, et passage piéton avant le giratoire. ....   | <a href="#">2627</a> |
| <b>Table 3.</b> Dictionnaire des interactions pour le giratoire. ....  | 27                   |
| <b>Figure 19.</b> Grille avec des carrés de 1 mètre x 1 mètre utilisée pour estimer la distance entre les objets de la scène. ....   | <a href="#">2829</a> |
| <b>Figure 20.</b> Exemple de gestion d'une interaction. Le début de l'interaction est illustré en (a), la distance minimale en (b) et la fin de l'interaction en (c). ....   | <a href="#">2930</a> |

|  |                      |
|--|----------------------|
| <b>Figure 21.</b> Nombre total d'utilisateurs enregistrés interagissant avec la navette autonome. ....   | <a href="#">3031</a> |
| <b>Figure 22.</b> Pourcentage d'interactions enregistrées par zone. ....   | <a href="#">3031</a> |
| <b>Figure 23.</b> Nombre et types d'utilisateurs par zone.....   | <a href="#">3132</a> |
| <b>Table 4.</b> Type d'interaction par zone et par type d'utilisateur. ....  | <a href="#">3132</a> |
| <b>Figure 24.</b> Nombre d'interactions selon l'heure, caméras 2, 3, 4, 5, et 6.....   | <a href="#">3233</a> |
| <b>Figure 25.</b> Nombre d'interactions selon l'heure, caméra 7. ....  | <a href="#">3334</a> |
| <b>Figure 26.</b> Type et nombre d'interactions par zone.....  | 34                   |
| <b>Figure 27.</b> Nombre et types d'interactions par caméra et par heure. ....   | 35                   |
| <b>Figure 28.</b> Type d'interactions. Pour cette analyse, « Situations sans risque réel » sont les interactions D101, D200, D300, D500, G201, G202, et G204 et G205 ; « Usagers empruntant la voie du VA » sont les interactions D201, D301 et D400 ; et « Situations potentiellement accidentogènes » sont les interactions D100, D600, D700 et G203.....              | 36                   |
| <b>Figure 29.</b> Types d'interactions par zone. ....  | 37                   |
| <b>Figure 30.</b> Situations potentiellement accidentogènes (interactions de type D100, D600, D700 et G203) ....   | 38                   |
| <b>Figure 31.</b> Distance moyenne selon le type d'interaction. ....   | 39                   |
| <b>Figure 32.</b> Distance moyenne selon trois classes d'interaction : « Situations sans risque réel » sont les interactions D101, D200, D300, D500, G201, G202, et G204 et G205 ; « Usagers empruntant la voie du VA » sont les interactions D201, D301 et D400 ; et « Situations potentiellement accidentogènes » sont les interactions D100, D600, D700 et G203. .... | 39                   |
| <b>Figure 33.</b> Différents types de réactions chez les utilisateurs qui croisent le véhicule autonome. Le rectangle rouge montre un groupe de piétons très attentifs au passage de la navette autonome, tandis que le piéton indiqué par le rectangle jaune semble habitué à son passage. ....   | <a href="#">4041</a> |
| <b>Figure 34.</b> Exemple des types de scénarios présents à l'entrée de l'hôpital Oncopole. Cette zone est sous la surveillance de la caméra 2. ....   | 41                   |
| <b>Figure 35.</b> Quelques exemples de scénarios rencontrés dans la zone en ligne droite entre l'entrée de l'hôpital et le parking. Cette zone est surveillée par les caméras 3 (en haut à gauche), 4 (en haut à droite), 5 (en bas à gauche) et 6 (en bas à droite). ....   | 42                   |
| <b>Figure 36.</b> Exemple de cas où la navette emprunte la voie piétonne avant d'entrer dans le giratoire. ....  | 43                   |
| <b>Figure 37.</b> Passage piéton avant le giratoire. ....  | 44                   |
| <b>Figure 38.</b> Exemple de scénarios enregistrés par la caméra 7. ....   | 45                   |

## Glossaire

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

## Résumé exécutif

L'objectif global du projet SAM est de contribuer à une meilleure intégration des véhicules automatisés et autonomes dans la circulation actuelle. Les questions posées par la cohabitation de ces véhicules, devenant de plus en plus automatisés et connectés, avec des véhicules conventionnels et des usagers vulnérables tels que les deux-roues motorisés, les vélos et les piétons, sont fondamentales pour les décideurs publics, les constructeurs, les spécialistes de l'infrastructure et de la sécurité routière.

Ce livrable R5.3-6 rend compte des résultats obtenus durant l'analyse visuelle des vidéos enregistrées par les caméras sur le site d'Oncopole à Toulouse dans le cadre de la tâche 5.3. Il est réalisé en parallèle de livrables pour d'autres sites tels que Carquefou (ville à proximité de Nantes), Paris Saclay ou encore Écusson et Antigone (tous deux quartiers de Montpellier).

Son objectif sera de classifier les interactions existantes avec les autres usagers du site d'étude décrit au travers de deux questions de recherche :

- 3.2.2 "Quel est le comportement des usagers de la route à l'extérieur du VA ? Quelles sont les situations observées et analysées ? (Caractérisation, description)
- 3.2.3 "Quel est le comportement des usagers de la route à l'extérieur du VA ? Ce comportement évolue-t-il au cours du temps ?

L'étude a été réalisée par une analyse visuelle de l'enregistrement des vidéos par des caméras positionnées sur les points d'observation le long d'un itinéraire prédéfini. Chaque interaction distincte a été schématisée par un pictogramme avec une description associée.



## Introduction

La cohabitation de véhicules de plus en plus automatisés avec des véhicules conventionnels, cyclistes, piétons et deux-roues motorisés (ces trois derniers étant habituellement référencés comme Usagers Vulnérables de la Route (UVR) (Yannis et al. 2020)) a généré un grand nombre d'inquiétudes pour les décideurs publics et les spécialistes des infrastructures et de la sécurité routière. En effet, l'intégration des véhicules automatisés dans l'écosystème routier impose un changement radical du paradigme de la mobilité conventionnelle. Par exemple, l'interaction traditionnelle entre un piéton et un conducteur s'effectue par une communication non verbale, comprenant des gestes faciaux, un contact visuel, des signaux de la main, etc. Ce langage informel indique les actions à entreprendre par le véhicule (arrêt et cédez le passage au piéton, continuer à rouler, etc.), et les gestes à poser par le piéton (s'arrêter, traverser la rue, etc.) pour éviter une situation périlleuse (Ezzati Amini et al. 2021). Cependant, avec l'ajout du véhicule automatisé (VA) dans les rues, l'ensemble du processus d'interaction changera à mesure que les niveaux d'automatisation progresseront (Shahini and Zahabi 2022). Pour une mise en œuvre réussie des véhicules automatisés, une communication directe et permanente entre le VA et les différents éléments présents dans l'écosystème routier environnant doit être mise en place. Une communication médiocre ou déficiente peut avoir des conséquences fatales, notamment pour les usagers les plus vulnérables (piétons et cyclistes). Ainsi, l'interaction entre les véhicules automatisés et le reste des usagers de la route est un indicateur fondamental pour la sécurité de tous les usagers de la route face à l'automatisation de plus en plus présente des services de transport (Hancock et al. 2020).

C'est à partir des notions précédentes qu'a émergé le projet SAM. Le projet SAM (Sécurité et Acceptabilité de la Mobilité autonome) rassemble un consortium de partenaires industriels, de recherche et territoriaux, en réponse à l'Appel à Projets d'Expérimentation de Véhicules Routiers Autonomes (EVRA) fondé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir (PIA). Plus précisément, l'objectif de ce projet est d'évaluer le comportement des différents usagers de la route (piétons, cyclistes, véhicules conventionnels, ...) en présence de véhicules automatisés. Pour cela, 13 sites expérimentaux ont été mis en place sur différents sites en France, où les expérimentations menées portent sur trois domaines d'application ciblés (véhicules particuliers autonomes, systèmes de transports publics et partagés autonomes, et systèmes de transport de marchandises autonomes) et six cas d'usage différents (conduite autonome, parking, service de taxi, services de mobilité collective et partagée, transports en commun et livraison du dernier kilomètre).

Partant du constat que 90 % des accidents sont liés à des facteurs humains, le véhicule autonome apparaît comme un moyen de déplacement permettant de réduire la mortalité routière. Néanmoins, la démonstration des gains en matière de sécurité routière reste à faire. Dans le document d'orientation stratégique présenté le lundi 14 mai 2018, Anne-Marie IDRAC (Haute responsable pour la stratégie nationale de développement des véhicules autonomes) réaffirme cet enjeu : « La sécurité routière constitue l'enjeu majeur sur lequel le véhicule automatisé est attendu en réduisant potentiellement les risques d'occurrences des collisions avec les autres véhicules, voire avec des usagers vulnérables ». Les comportements des usagers résultent de l'interaction entre l'individu, l'environnement et la tâche de conduite et n'ont de sens que par rapport au contexte dans lequel ils sont réalisés. La démonstration des gains en sécurité routière associés à la circulation d'un véhicule autonome en site ouvert est essentielle.

Ce rapport présente une description détaillée de la méthodologie mise en œuvre ainsi que les résultats obtenus de l'analyse des interactions entre un véhicule autonome (une navette EasyMile) et le reste des usagers de la route, réalisée dans le cadre du projet SAM pour la tâche 5.3 « Comportement des usagers et impact sur la sécurité routière ».

Ce livrable est organisé de la façon suivante :

Le chapitre 1 est dédié à l'état de l'art portant essentiellement sur la perception de l'environnement perçu par un véhicule autonome. Les différents capteurs utilisés pour cette tâche de surveillance sont mentionnés et quelques champs applicatifs sont rappelés.

Le chapitre 22 est le descriptif global du site d'expérimentation exploité dans le cadre du projet. SAM est un projet qui génère beaucoup de données vidéo provenant des véhicules ou de l'infrastructure. Il était important de dédier un chapitre entier au site d'expérimentation et aux données provenant de l'architecture sensorielle mise en place.

Le chapitre 33 est dédié à la méthodologie de recueil des données sur le terrain et leur prise en charge informatique et leur mode de sélection et de filtrage pour la phase d'évaluation.

Le chapitre 44 est dédié au dépouillement des données et aux indicateurs utilisés pour la phase d'évaluation. Le travail de sélection des indicateurs a été réalisé en concertation avec l'équipe de la Direction Territoriale Normandie Centre

Dans le chapitre 5 on trouvera une grille d'analyse des comportements des usages vis à vis de la navette autonome. Ce chapitre est voué à la méthodologie suivie. Ce travail est réalisé en collaboration avec la direction territoriale Normandie Centre.

Le chapitre 6 est dédié à la présentation des résultats, basés sur les interactions entre les différents usagers, la navette autonome et la nature de la cohabitation sur le site de l'Oncopole.

Enfin le chapitre 7 fournit une synthèse de l'ensemble des résultats et de possibles perspectives de recherche et développement à terme.

## 1. Etat de l'art

Le développement de véhicules autonomes ayant des niveaux d'autonomie de plus en plus élevés oblige les constructeurs à exploiter au maximum les potentialités des capteurs, pour profiter de leur complémentarité et obtenir une redondance des informations collectées.

Pour bien percevoir l'environnement autour des véhicules autonomes, on le surveille à l'aide de capteurs. Les caméras, radars et LiDARs constituent les trois familles de capteurs utilisés pour permettre au véhicule de percevoir le plus fidèlement possible son environnement et prendre les décisions adaptées en termes de conduite et surtout de sécurité. Les systèmes de perception de l'environnement (Q. Chen et al. 2021) ont un impact significatif sur la compréhension des interactions et des conflits entre les véhicules autonomes et les usagers de la route (Alozi and Hussein 2023), y compris les piétons, les cyclistes et les autres véhicules. Les paragraphes suivants présentent quelques-uns des principaux travaux connexes dans le domaine de la perception de l'environnement dans le contexte des véhicules autonomes (VA). Cet état de l'art se veut volontairement court car l'ensemble des travaux que l'on mène sur ce projet est très diversifié.

Certains travaux de recherche existants soulignent l'importance de la perception de l'environnement pour les véhicules autonomes (Wu et al. 2019), en particulier dans des environnements complexes avec de multiples usagers de la route et la nécessité de nouvelles approches qui prennent en compte les interactions entre les véhicules autonomes et les autres usagers. Par exemple, dans (Y. Chen et al. 2023) les auteurs prennent en considération les interactions entre le véhicule autonome et les autres usagers de la route, et ils passent en revue plusieurs modèles décisionnels qui prennent en compte ces interactions. La publication (Zhao et al. 2023) passe en revue les différentes approches pour assurer la sécurité des véhicules autonomes, en particulier dans des environnements complexes avec de multiples usagers de la route. De même, dans (Rasouli and Tsotsos 2020) une enquête auprès des piétons pour comprendre leurs attitudes envers les navettes autonomes et leur volonté de les utiliser est présentée.

D'autres recherches sur la perception de l'environnement incluent le développement de technologies de capteurs avancées telles que le LiDAR, le radar et les caméras, montées sur le véhicule pour détecter et localiser des objets en 2D (Rivera Velázquez et al. 2022) et 3D Domain (Minh Mai et al. 2022). Cependant, les capteurs LiDARs sont très coûteux et les ensembles de données contiennent des images d'un point au niveau du sol, alors qu'une vue idéale pour observer une interaction entre les usagers de la route et le VA doit être élevée au-dessus de la surface de la route. La même chose se produit avec les caméras thermiques et les caméras vidéo classiques installées sur le VA, où en raison de la position des caméras (au niveau du sol), les occultations sont courantes. D'autre part, les caméras de surveillance surélevées au-dessus de la surface de la route ont fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années pour prédire le comportement des usagers de la route (Shtayat et al. 2020). Néanmoins, ces ensembles de données ne contiennent pas d'annotations 3D qui seraient nécessaires pour estimer la distance des usagers de la route par rapport au VA.

Bien qu'il y ait eu récemment des progrès significatifs dans le développement de technologies de perception de l'environnement pour les véhicules autonomes (Ignatious, Sayed, and Khan 2022), l'accent a été moins mis sur les aspects de sécurité routière liés au comportement et à l'acceptabilité des utilisateurs quant à la présence de véhicules autonomes dans leur environnement (Kaye et al. 2022). Par conséquent, aucune de ces études n'est en mesure de fournir des éléments sur l'évaluation des interactions entre les VA et les usagers de la route dans le monde réel.

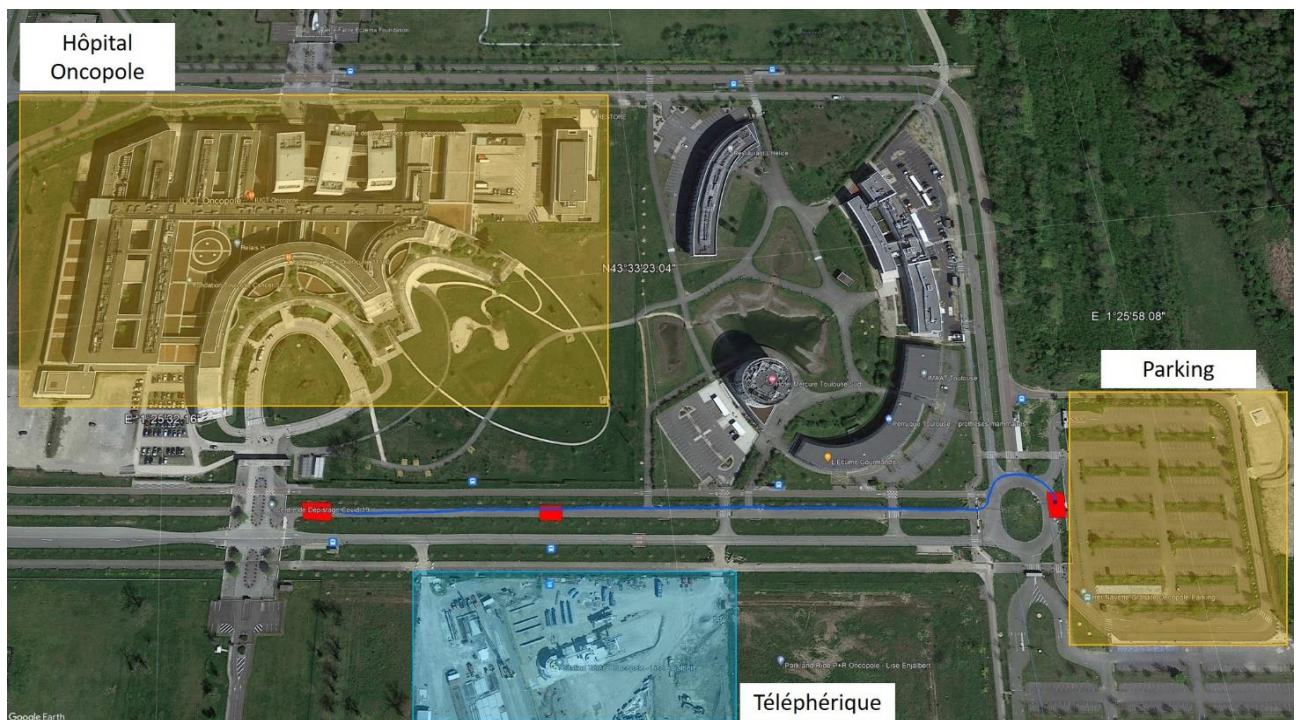
Ce travail présente une nouvelle méthodologie pour identifier toutes les interactions possibles entre un VA (une navette autonome) et les usagers de la route aux alentours en détectant, suivant et prédisant les distances entre la navette et les autres mobiles de la scène (piétons, cyclistes, ...).

## 2. Descriptif du site d'expérimentation de l'Oncopole

L'institut d'oncologie Oncopole se situe dans une zone péri-urbaine de Toulouse. Un service de navette thermique fait les allers/retours entre des parkings au fond du site et l'entrée du bâtiment de l'Oncopole. La navette thermique est actuellement conduite par un chauffeur. La navette autonome que l'on souhaite évaluer emprunte une voie dédiée aux bus, une voie piétonne/cyclable, une voie publique à double sens de circulation et franchit une intersection et un important giratoire (8 entrées) équipés en feux tricolores connectés. La mise en place d'un système de surveillance de zone sur le parcours permet également d'envoyer des informations à la navette permettant ainsi d'anticiper des situations et d'améliorer le service.

## 2.1. Le site d'expérimentation dans sa globalité

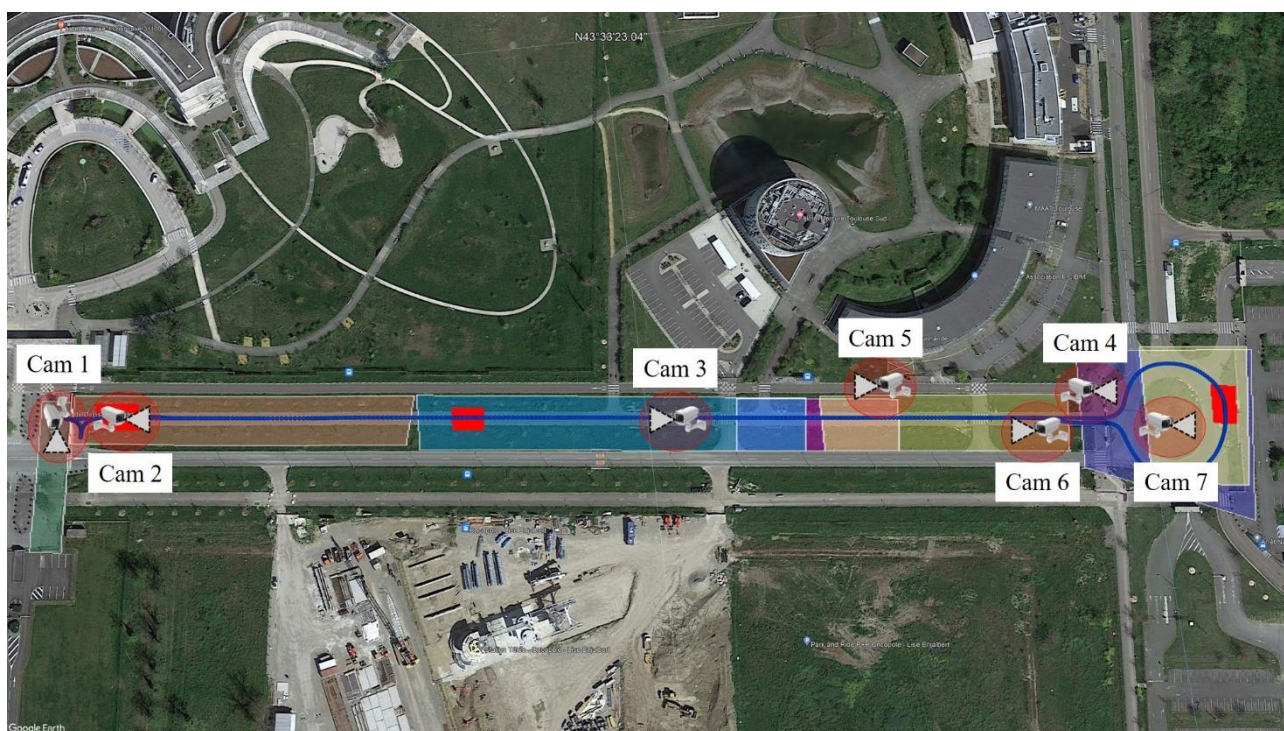
L'institut d'oncologie Oncopole, situé dans le sud de Toulouse en France, est l'un des treize sites expérimentaux du projet SAM. Ce site expérimental présente un environnement assez complexe en termes d'usagers de la route : présence constante de piétons, de cyclistes, de deux-roues motorisés (scooters, motos, ...), de véhicules personnels, d'ambulances, de bus et de poids lourds. La présence de ces entités en milieu routier se concentre principalement sur le parcours d'un kilomètre qui sépare l'entrée principale de l'hôpital et son stationnement au fond de la zone. C'est précisément sur ce parcours qu'a été mis en place un véhicule autonome de type navette, dont l'objectif est de conduire les visiteurs depuis le parking périphérique jusqu'à l'entrée de l'hôpital. Pour cela, le circuit effectué par la navette autonome compte deux stations d'embarquement/débarquement (deux initialement puis portées à trois en raison de l'ouverture d'un nouveau téléphérique (voir la section [OII.3.2.2](#))). Ceci est illustré sur la [Figure 1](#) [Figure 4](#).



**Figure 1.** Site expérimental : Institut de cancérologie "Oncopole" à Toulouse, France. L'image montre l'itinéraire de deux kilomètres (aller-retour) emprunté par la navette (ligne en bleue) ainsi que les trois arrêts de la navette (trois zones en rouge : parking à droite, téléphérique au centre, et entrée de l'hôpital à gauche).

## 2.2. Instrumentation mise en œuvre

Pour étudier le parcours de la navette autonome, et donc, enregistrer toute interaction éventuelle entre elle et les autres usagers de la route, 7 caméras ont été installées (6 caméras installées fin 2020, et une caméra supplémentaire installée fin 2022) le long du kilomètre de distance qui sépare le parking de l'entrée de l'hôpital. La disposition de ces caméras a été réalisée de manière stratégique pour essayer de couvrir la plus grande zone surveillée possible, en donnant la priorité aux zones d'intérêt, c'est-à-dire, aux zones où l'on s'attendait à une plus grande interaction entre la navette autonome et les autres utilisateurs du parcours. Ces zones d'intérêt sont : l'entrée de l'hôpital, le giratoire et la station près du téléphérique. La [Figure 2](#) montre la répartition des caméras le long du parcours de la navette autonome, ainsi que leurs champs de vision correspondants (sous forme de rectangles de couleurs différentes).



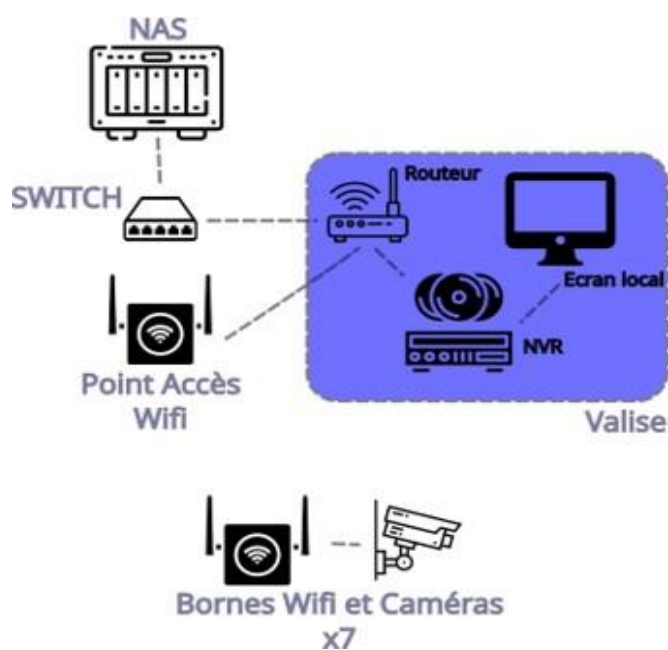
*Figure 2. Zones observées par les 7 caméras bord de voie. Les rectangles colorés montrent les champs de vision correspondant aux caméras.*

### 2.2.1. Le réseau de transmission de terrain

L'installation de 7 caméras vidéo sur un réseau maillé Wifi de 5e génération constitue une opération technique innovante qui nous a permis de mettre en place une transmission vidéo sur le site distant non équipé d'un réseau informatique filaire. Les terminaux Wifi sont répartis de manière homogène sur le site d'observation afin de le "mailler" de telle sorte que tous les terminaux puissent communiquer entre eux. Les terminaux peuvent également communiquer entre eux par câble, ce qui rend le système encore plus fiable et efficace. Cependant, cette option n'a pas pu être mise en œuvre sur le site de l'Oncopole. Avec un tel système, nous disposons d'un seul réseau Wifi. Le Wifi Maillé que nous avons mis en place est un Wifi haute vitesse allant jusqu'à 1200 Mbps avec la technologie MIMO 2 x 2. La [Figure 3](#) montre le type de caméras et la valise utilisés pour l'acquisition des données sur le site expérimental de l'Oncopole. La [Figure 4](#) montre le schéma général du système utilisé pour enregistrer les données acquises par les 7 caméras bord de voie.



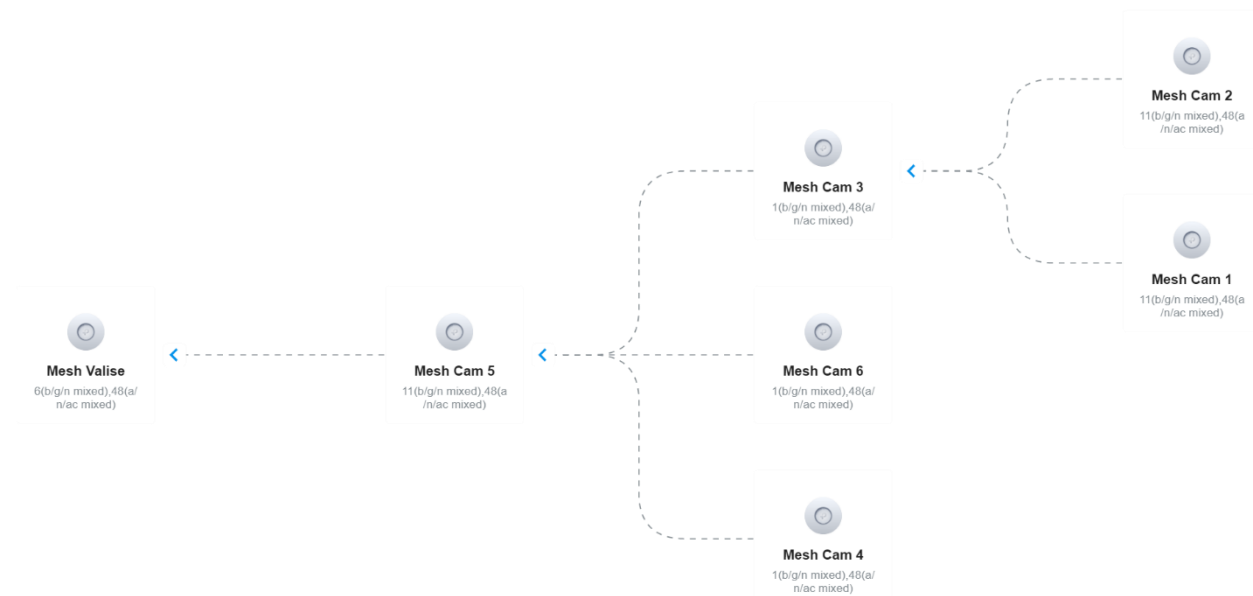
*Figure 3. Illustration des caméras utilisées sur le site (image à gauche) ainsi que la valise qui contient le système de stockage (image à droite) des vidéos du site de l'Oncopole.*



*Figure 4. Schéma général du système de surveillance installé à l'Oncopole.*

Ce principe de maillage est intéressant dans le sens où si l'un des nœuds échoue à transmettre les données, les autres prennent le relais, contrairement à un réseau traditionnel. Cette solution ne rencontre pas le problème des répéteurs Wifi traditionnels qui sont en effet contraints de "couper" la bande passante jusqu'à 50 % car ils utilisent une seule fonction radio pour envoyer et recevoir le signal. Un autre avantage d'un réseau Wifi maillé est que la configuration est ultra simplifiée et nous pouvons simplement ajouter un appareil supplémentaire pour étendre la zone ou ajouter un nouveau point d'observation. Par exemple, nous avons ajouté ultérieurement la 7e caméra pour améliorer notre perception du site.

La [Figure 5](#) présente le schéma de principe du site distant. Chaque caméra est associée à une borne Wifi. L'ensemble des flux des vidéos sont transmis vers un Enregistreur numérique (NVR) situé dans un local technique mise à disposition pour Toulouse Métropole. Ce NVR est incorporé dans une valise de terrain (illustrée dans la [Figure 3](#)).



*Figure 5. Synoptique du réseau Wifi maillé installé à l'Oncopole.*

L'architecture maillée consiste à construire un réseau de terminaux Wifi intelligents, chacun capable de relayer les flux vers tous les autres (voir [Figure 5Figure-5](#)). Ainsi, l'ensemble du réseau s'adapte dynamiquement aux différents flux de données en distribuant la charge, sans jamais causer de goulot d'étranglement. Nous n'avons pas mis en place de redondance de points Wifi dans ce projet, mais nous avons veillé à limiter le nombre de connexions sur un seul point. Nous avons réparti les liaisons de manière équitable entre les deux points d'accès situés au centre du site, là où tous les flux de données sont concentrés. Par soucis d'équilibrage, la dernière caméra n°7 a été associée à la caméra 6 (non représentée sur le synoptique de la [Figure 5Figure-5](#)), située à proximité et qui ne relayait pas de données d'autre borne.

Les points d'accès Wifi, utilisés pour transmettre les flux vidéo, sont alimentés par des poteaux d'éclairage disposant d'une alimentation permanente en 220V, ce qui garantit une alimentation continue et stable. Cependant, pour la caméra située sur le giratoire, alimentée par un poteau à alimentation intermittente, une batterie a été ajoutée pour assurer l'alimentation pendant les périodes d'interruption. Cette batterie se recharge la nuit lorsque le lampadaire est alimenté.

Les caméras sont capables de fournir un signal Full HD avec un protocole de compression H265. Le boîtier des caméras et des terminaux Wifi est conforme à la norme IP65 pour une protection contre les intempéries (étanchéité à la poussière et à l'eau).

Les flux vidéo des 7 caméras sont transmis à un enregistreur vidéo numérique (NVR) capable de stocker environ 1 mois de données. Pour garantir une qualité de transmission optimale, des antennes directionnelles ont été ajoutées pour permettre au signal Wifi de parcourir des distances de plus de 300 mètres, notamment sur un grand axe du site d'expérimentation. Les autres antennes sont des antennes omnidirectionnelles standard. Cette configuration permet une surveillance complète et efficace du comportement des utilisateurs autour de la navette autonome.

Les données vidéo sont cryptées dans un système de fichiers propriétaire, ce qui permet de respecter la confidentialité des données, notamment le règlement général sur la protection des données (RGPD). Il est ensuite nécessaire d'exporter les vidéos pour pouvoir les exploiter.

## 2.3. La navette autonome utilisée et son itinéraire

Dans cette section, nous parlerons du véhicule autonome utilisé pour le site expérimental de l'Oncopole à Toulouse, qui a été déployé par la société française EasyMile. De plus, l'itinéraire emprunté par le VA sera discuté, ainsi que les changements survenus dans l'itinéraire en raison de l'ouverture du nouveau téléphérique à Toulouse.

### 2.3.1. Le véhicule autonome (VA)

Le véhicule autonome installé sur le site expérimental de l'Oncopole est le véhicule EasyMile EZ10 (voir [Figure 6](#)) qui est 100% électrique et a une capacité jusqu'à 12 personnes ("EasyMile EZ10" n.d.). Ce véhicule est équipé d'une grande variété de capteurs, notamment des LiDARs, des radars, des caméras de vision stéréo, des unités de mesure inertielle (IMU) et des systèmes de positionnement par satellite, entre autres.



**Figure 6.** La Navette EZ10 d'EasyMile déployée sur le site expérimental de l'Oncopole à Toulouse (à gauche), et une photo de celle-ci faisant demi-tour devant l'arrêt de l'entrée de l'hôpital (à droite).

En plus de ces systèmes de perception utilisés exclusivement pour la conduite des véhicules, deux caméras de type DashCam ont été installées. Ces deux caméras, installées spécifiquement pour l'étude menée dans le cadre du projet SAM (c'est-à-dire indépendantes des systèmes du véhicule), permettent d'enregistrer : 1) des vidéos du parcours VA (deux vues : avant et arrière), et 2) la position du VA pendant le trajet (coordonnées GPS enregistrées chaque seconde). Les données de ces deux caméras, et notamment les données du GPS, sont utilisées pour l'analyse ultérieure des vidéos provenant des caméras fixes, comme expliqué plus loin dans la section [3.3IV.3](#).

### 2.3.2. L'itinéraire emprunté par la navette autonome (VA)

Rappelons que l'itinéraire du VA couvre environ 2 kilomètres (aller-retour) empruntant une voie dédiée, une voie piétonne/cyclable et un grand giratoire. Dans le cadre de l'expérimentation, la voie affectée à la navette autonome est partiellement partagée avec les usagers du site (vélos, piétons, ...). On observe alors beaucoup d'interactions entre les usagers et la navette.

Comme on peut le constater sur la [Figure 7](#), l'itinéraire emprunté par la navette autonome est constitué de trois zones bien différentes en termes de topologie et d'enjeux de sécurité routière :

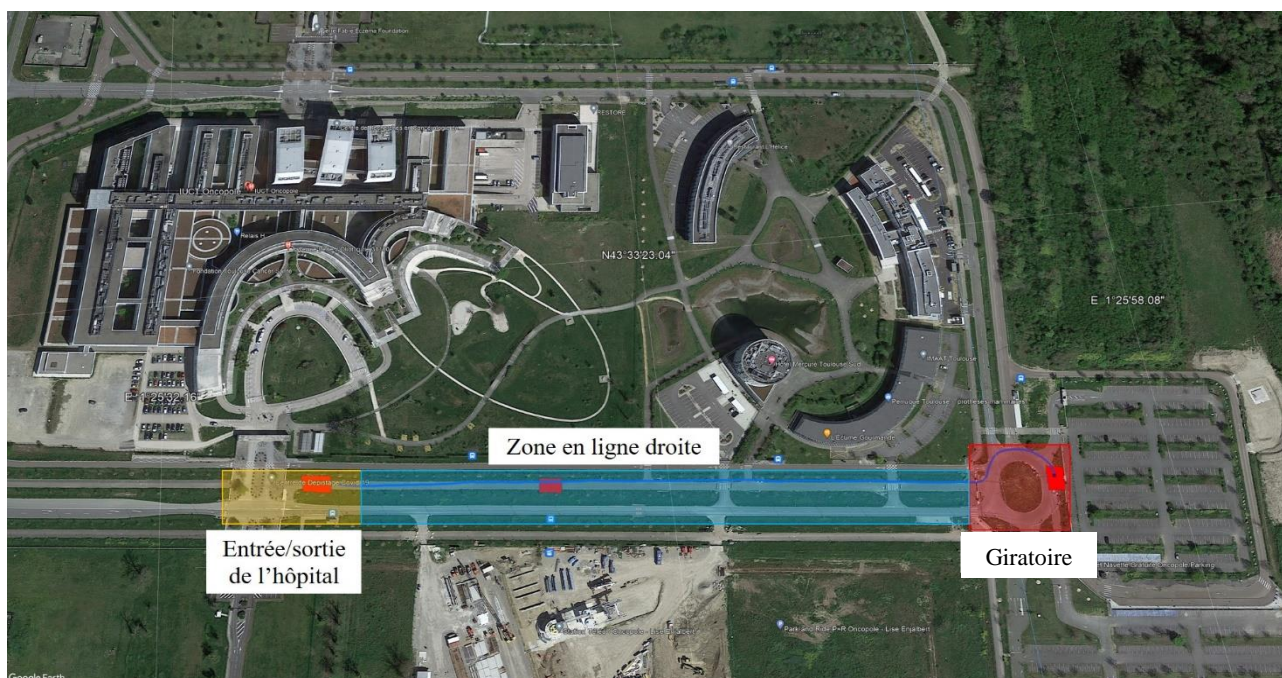
- Une zone d'entrée/sortie empruntée essentiellement par des piétons allant ou revenant de l'hôpital. Cette zone, surveillée par les caméras 1 et 2 est aussi un lieu de demi-tour pour la navette. De



nombreuses interactions sont observées dans cette zone car les usagers et la navette empruntent simultanément la même infrastructure (voir [Figure 8](#))

- Une zone en ligne droite où l'infrastructure est séparée par un marquage (ligne continue) entre la navette et les piétons quittant ou arrivant de l'Oncopole . Cette zone est à peu près à mi-chemin du parcours de la navette. Les piétons et la navette peuvent se suivre ou se croiser avec parfois une très grande proximité. Cette zone est surveillée par plusieurs caméras. Cette zone contient aussi un passage piéton. Ce sont donc les caméras 3, 5 et 6 qui surveillent cette zone (voir [Figure 9](#))
- Une troisième zone surveillée par la caméra 4 qui surveille une partie de la ligne droite et une partie du **giratoire**. La caméra 7 surveille le reste du giratoire. Cette zone est très fréquentée par des piétons, cyclistes, véhicules personnels et véhicules de transport en commun (voir [Figure 10](#)). Il est à noter que la fin de la ligne droite est partagée entre la navette et les piétons à proximité du giratoire.

Au commencement du projet, nous avons prévu que l'itinéraire de la navette serait changé au fur et à mesure de l'avancement. Finalement, la société EasyMile, expérimentateur dans le projet, n'a pas souhaité mettre en œuvre ce nouvel itinéraire dans l'évaluation finale car la navette entrait en conflit frontal avec d'autres usagers ce qui aboutissait à des arrêts systématiques de la navette. Dans cette configuration nous avons prévu une autre caméra numérotée 1 et qui finalement n'est pas utilisée, puisque nous gardons l'itinéraire initial.



**Figure 7.** Trois zones dans lesquelles l'itinéraire de la navette autonome a été divisé : entrée/sortie de l'hôpital (côté gauche, en jaune), zone en ligne droite (centre, en bleu), et zone tournante (côté droit, en rouge).



**Figure 8.** Zone entrée/sortie de l'hôpital Oncopole, surveillée par les caméras 1 (à gauche) et 2 (à droite). La caméra 1 ne sera pas exploitée pour les raisons citées précédemment. Zone principalement fréquentée par des piétons.



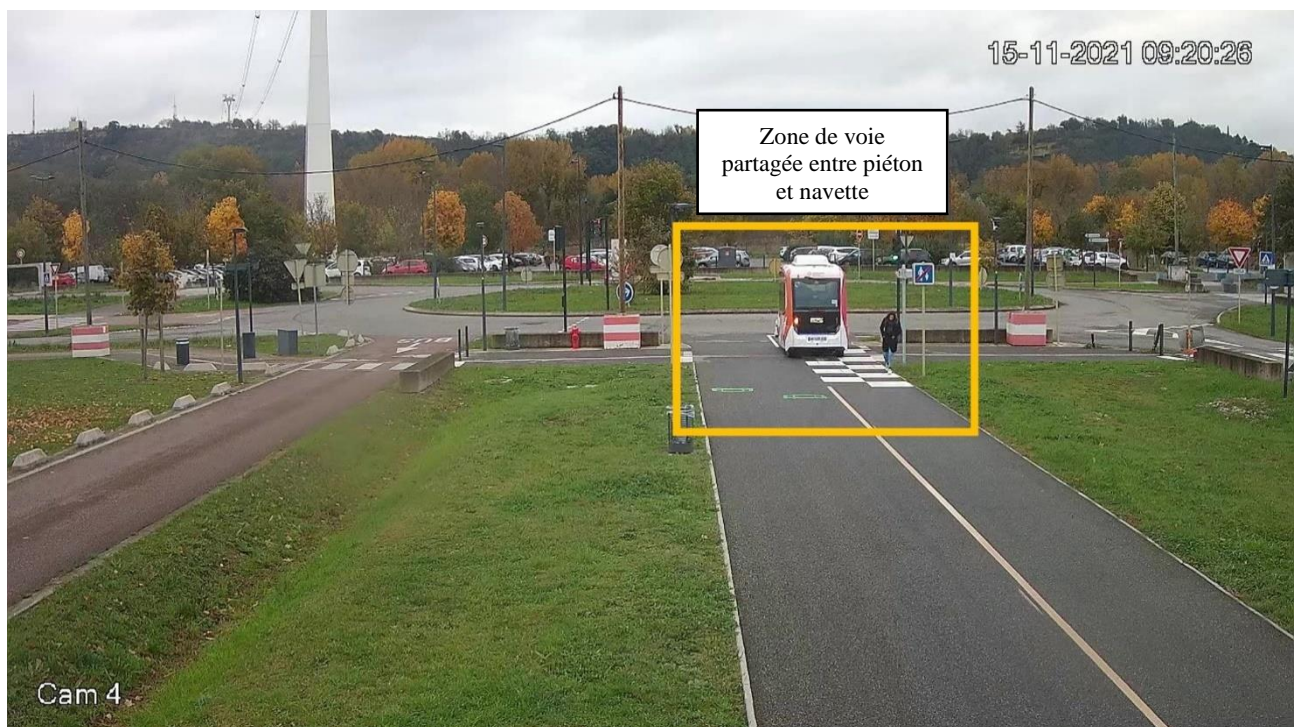
**Figure 9.** Zone en ligne droite surveillée par les caméras 3 (en haut à gauche), 5 (en haut à droite) et 6 (en bas à gauche). Zone principalement fréquentée par des piétons et des cyclistes.



**Figure 10.** Zone giratoire surveillée par les caméras 4 (à gauche, arrivée au giratoire) et 7 (à droite, vue de dessus du giratoire). Cette zone est très fréquentée par des piétons, cyclistes, véhicules personnels et véhicules de transport en commun.

Une zone de grand intérêt lors de cette étude est le passage piéton avant le giratoire qui, comme mentionné précédemment, est surveillé par la caméra 4. L'importance de ce passage piéton réside en :

- Ce passage piéton est emprunté par un grand nombre de piétons qui viennent du parking et qui partent pour l'hôpital, ainsi que ceux qui font le chemin inverse
- Aussi, ce passage piéton est très utilisé par les cyclistes, puisque le passage piéton est le prolongement d'une piste cyclable et permet également de traverser toute l'aire de stationnement
- De plus, à cet endroit, dans le cadre de son itinéraire, la navette emprunte une section partagée avec tous les usagers vulnérables (notamment des piétons) sur quelques mètres pour pouvoir se positionner en face du feu tricolore et rejoindre le giratoire. Cela crée des situations dangereuses pour les piétons, comme on peut le voir sur la [Figure 11](#)~~Figure 11~~

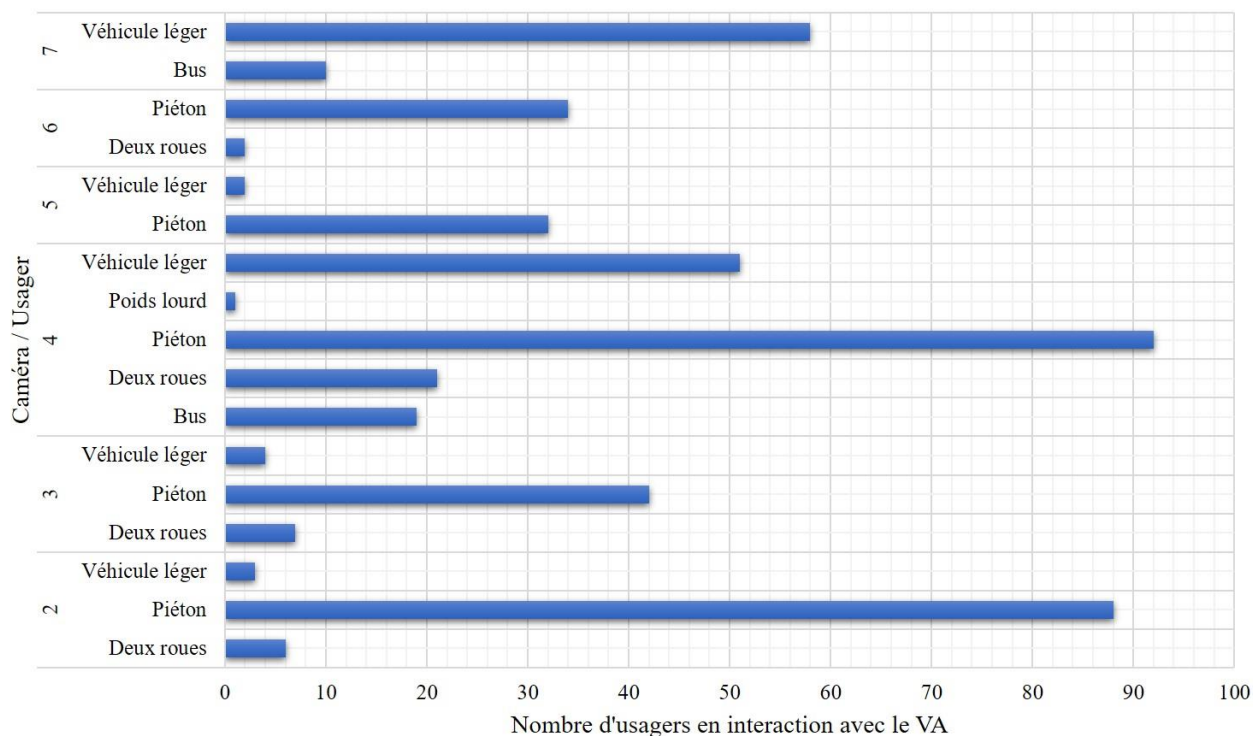


**Figure 11.** Passage piéton avant le giratoire (direction parking). La navette emprunte momentanément la voie partagée avec les UVR avant de rejoindre le giratoire.

Par ailleurs, à mi-chemin du parcours emprunté par le VA, se trouvent une station de téléphérique (voir section [QH-3-2-2](#)) et deux gares routières (une de chaque côté), qui génèrent un flux piéton qui traverse perpendiculairement le parcours du véhicule autonome. Ainsi, comme le lecteur peut en conclure, beaucoup d'interactions de la navette se font avec des piétons et des cyclistes, qui sont présents en grand nombre en raison de la présence de nombreux arrêts de transport en commun. Ceci est corroboré par les données collectées et traitées à partir de 5 des 7 caméras installées le long du parcours de la navette. Pour avoir une vision globale de l'activité d'interaction entre les usagers et le VA, nous proposons sur la [Figure 12](#)~~Figure 12~~ un synoptique global où on constate que la plupart des interactions enregistrées sont avec des piétons. On peut également noter que la caméra 4 enregistre aussi beaucoup de véhicules légers, ce qui

est dû au fait que cette caméra est orientée vers le giratoire (voir [Figure 10](#)~~Figure 10~~). Des résultats plus détaillés seront fournis plus loin dans ce document.

### Usagers en interaction avec le VA par caméra



**Figure 12.** Nombre et types d'utilisateurs en interaction identifiés par la caméra.

#### *L'annulation d'un deuxième itinéraire*

Initialement, pour le site expérimental de l'Oncopole, deux itinéraires différents avaient été prévus pour la navette autonome : 1) un itinéraire initial où la navette circulerait sur une voie réservée, en passant par un giratoire où la navette partagerait la voie avec les véhicules personnels et les transports en commun (itinéraire sur lequel se base cette étude), et 2) un deuxième itinéraire où la navette autonome n'emprunterait que la voie publique, partageant l'intégralité de son itinéraire avec des véhicules privés, de transport en commun et de service. Cependant, en raison de complications techniques, il a été décidé de ne réaliser que le premier itinéraire. Cela est largement suffisant pour une analyse des interactions, d'autant que lors de son passage sur sa voie réservée, la navette partage l'itinéraire avec quantités de piétons et deux roues.

De plus, en raison de ce changement, le champ de vision de la caméra 1 (qui était initialement installée pour enregistrer le passage de la navette autonome sur son deuxième itinéraire) s'est avéré inutile pour cette étude, car la navette apparaît à peine sur les images, comme illustré sur la [Figure 13](#)~~Figure 13~~. Ainsi, pour mener à bien cette étude, il a été décidé de n'utiliser que les données des caméras 2 à 7, données suffisantes pour l'analyse des interactions entre la navette autonome et les autres utilisateurs de la route.



**Figure 13.** En raison d'un changement dans les itinéraires initialement prévus dans le projet, les données enregistrées par la caméra 1 ont été omises pour cette étude.

#### *Inauguration de la nouvelle station du téléphérique à l'Oncopole*

Le 13 mai 2022, le téléphérique de Toulouse a été inauguré (vue aérienne illustrée dans la [Figure 14](#)Figure 14), et est composé de trois stations dont l'une, la terminale, est le site hospitalier de l'Oncopole (station finale où les passagers doivent descendre). L'entrée/sortie de ladite station se situe quasiment à mi-parcours du trajet effectué par la navette autonome, ce qui génère un afflux important de piétons. Pour cette raison, il a ensuite été décidé d'ajouter un arrêt pour la navette à cet endroit, ce qui a permis aux utilisateurs du téléphérique d'atteindre l'hôpital et/ou le parking en utilisant la navette. D'autre part, l'augmentation du nombre de piétons dans cette zone a été anticipée lors de l'installation des caméras **qui servent à surveiller pour la surveillance de** l'itinéraire du véhicule autonome.



**Figure 14.** Vue aérienne du site expérimental et de la station du téléphérique à l'Oncopole. Image prise depuis l'une des cabines du téléphérique.

### 3. Les bases de données et leur acquisition

A partir des 7 caméras bord de voie installées le long de l'itinéraire de la navette, la base de données utilisée pour l'identification et l'analyse ultérieure des interactions entre la navette et le reste des usagers de la route est générée. Bien que toutes les données enregistrées par ces caméras soient d'une grande valeur, pour cette analyse, seules les séquences vidéo où est enregistrée l'interaction entre le VA et un autre usager de la route sont intéressantes. Pour éviter une analyse visuelle de l'ensemble de la base de données, il a été décidé d'automatiser la tâche de recherche des dites séquences vidéo, processus qui est décrit dans cette section.

Tout d'abord, nous commençons cette section avec quelques concepts qui seront utilisés tout au long de ce document. Ensuite, sur la base de ces concepts, le processus utilisé pour automatiser l'identification et l'extraction des séquences vidéo à analyser est expliqué.

#### 3.1. Identification des séquences d'intérêt incluant les interactions AV-UR

Les « séquences d'intérêt » sont définies comme la succession d'images (ci-après dénommées scènes) dans lesquelles le véhicule autonome est présent. De même, il est défini comme « interaction entre le véhicule autonome (VA) et un usager de la route (UR) » toute approche qui influence le comportement d'au moins une des parties (soit le VA ou l'UR). Sur la base de cette définition, le concept de « possible interaction entre le VA et un UR » est créé comme une situation où il y a une approche mais il n'est pas confirmé si cela génère une influence sur le comportement soit de l'UR soit du VA.

Comme on peut le déduire des définitions précédentes, une « interaction VA-UR » est un sous-ensemble de l'ensemble de toutes les « possibles interactions VA-UR ». D'ailleurs, Il faut noter qu'une « séquence d'intérêt » n'est pas nécessairement une « possible interaction », puisqu'il peut y avoir une séquence d'intérêt où le véhicule autonome est seul, rendant impossible toute sorte d'interaction. Enfin, il est facile de voir que toute « possible interaction VA-UR » est une « séquence d'intérêt », puisque le VA est sur la scène.

Pour cette étude, l'identification de toutes les séquences d'intérêt a été jugée très pertinente, puisque d'une part toutes les interactions VA-UR pouvaient être identifiées à partir de celles-ci, et d'autre part le fait de disposer d'une base de données contenant des interactions possibles pouvant être classées en « interaction » ou « non-interaction » donne lieu à de futurs travaux de recherche, dans lesquels des outils d'intelligence artificielle pourraient être utilisés pour la classification automatisée.

Ensuite, la manière dont toutes les séquences d'intérêt ont été identifiées à partir de la totalité des données est expliquée en détail.

#### 3.2. Quantité de données stockées et traitées

Le système de surveillance composé de 7 caméras, est configuré pour enregistrer environ 12 heures de vidéo par jour, 5 jours par semaine. Ainsi, les caméras enregistrent du lundi au vendredi, aux horaires de 7h à 19h. Après avoir analysé les données caméra par caméra nous avons décidé :

Pour les caméras 2, 3, 4, 5 et 6 de ne traiter que les données enregistrées entre les mois de juin à décembre 2021 les jours ouvrés lundi, mardi, jeudi et vendredi à l'heure de pointe du matin (de 8h à 10h) et celle du soir (de 17h à 19h)

Pour la caméra 7, traiter toutes les données enregistrées tous les jours ouvrés (du lundi au vendredi) du mois de mars 2023 (environ 12 heures par jour)

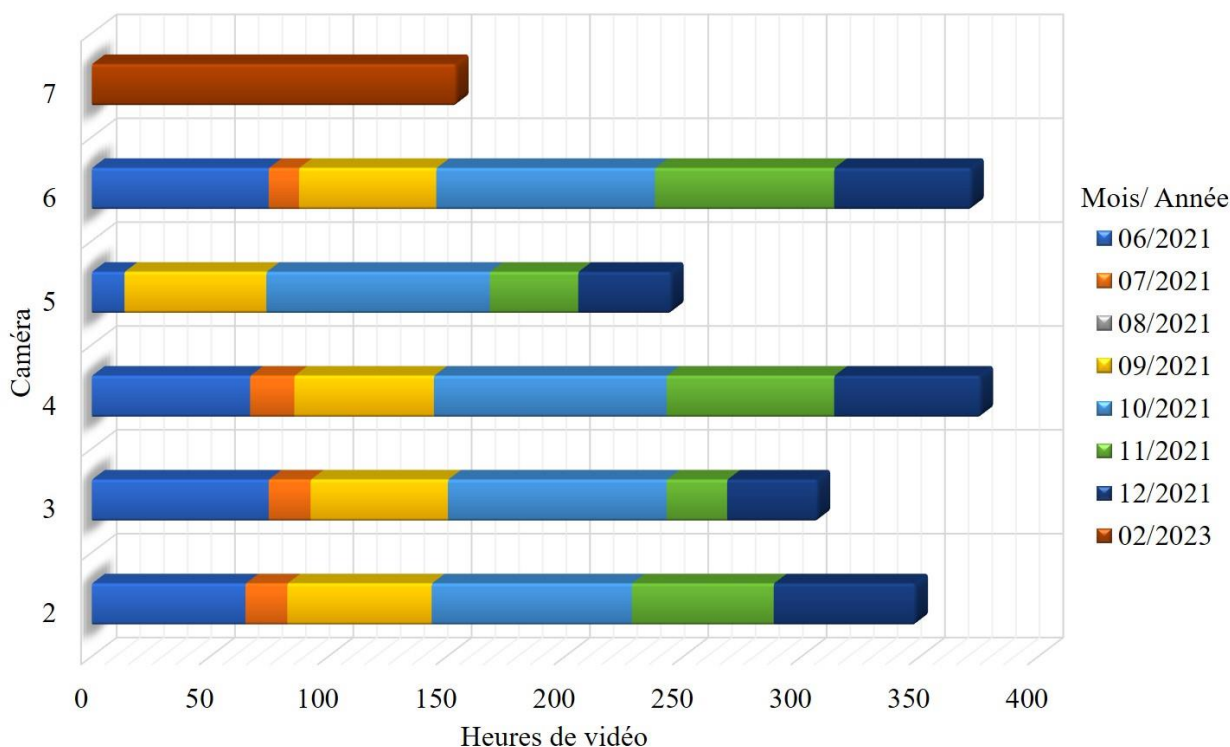
La caméra 1 n'est pas prise en compte pour l'étude des interactions en raison de la faible visibilité que cette caméra offre sur l'itinéraire de la navette, comme expliqué dans la section 0.3.2.1. La période de la caméra 7 n'est pas la même car elle a été installée plus tard, comme expliqué dans la section [Error! Reference source not found.4.2](#).

A partir de ces informations, il est possible d'estimer la quantité totale de données attendues : Pour la période de juin à décembre 2021 il y a environ 20 heures de vidéo par jour (4 heures de vidéo par jour par caméra, pour les caméras 2, 3, 4, 5 et 6), 80 heures de vidéo par semaine, et donc (en considérant quatre semaines par mois) environ 2 240 heures de vidéo au total pour les 7 mois (i.e. 448 heures par caméra). Pour la période de mars 2023 il y a 12 heures de vidéo par jour, 60 heures par semaine et donc 240 heures au total. Cependant, la quantité de données réelles enregistrées au cours de ces deux périodes est loin de ce chiffre.

La raison à cela est que plusieurs des vidéos stockées sont corrompues (vidéo mal enregistrée, vidéo illisible, images endommagées, ...) rendant impossible leur traitement. A ce sujet, il a été découvert que lesdits problèmes dans les vidéos enregistrées provenaient de coupures de communication entre les caméras et le système de stockage (décrit dans la section 2.1.1.2.1). De même, il a été observé que ces coupures de communication étaient plus présentes lorsque les conditions météorologiques étaient défavorables (notamment la présence de pluie et de vent).

Cependant, la quantité de données stockées continue d'être d'une taille très importante, comme on peut le voir sur la [Figure 15](#). Sur cette figure, il est possible d'apprécier deux choses : 1) le nombre total d'heures à analyser qui est de 1800 (en moyenne 300 heures par caméra) ; et 2) en raison d'un problème de connexion dans le système de stockage vidéo, il n'y a pas de données pour Août 2021. Par ailleurs sur la [Figure 15](#) on peut constater que le nombre d'heures de vidéo stockées varie entre les différentes caméras, cette différence étant due au problème de données corrompues expliqué ci-dessus.

Heures totales de vidéo par Caméra

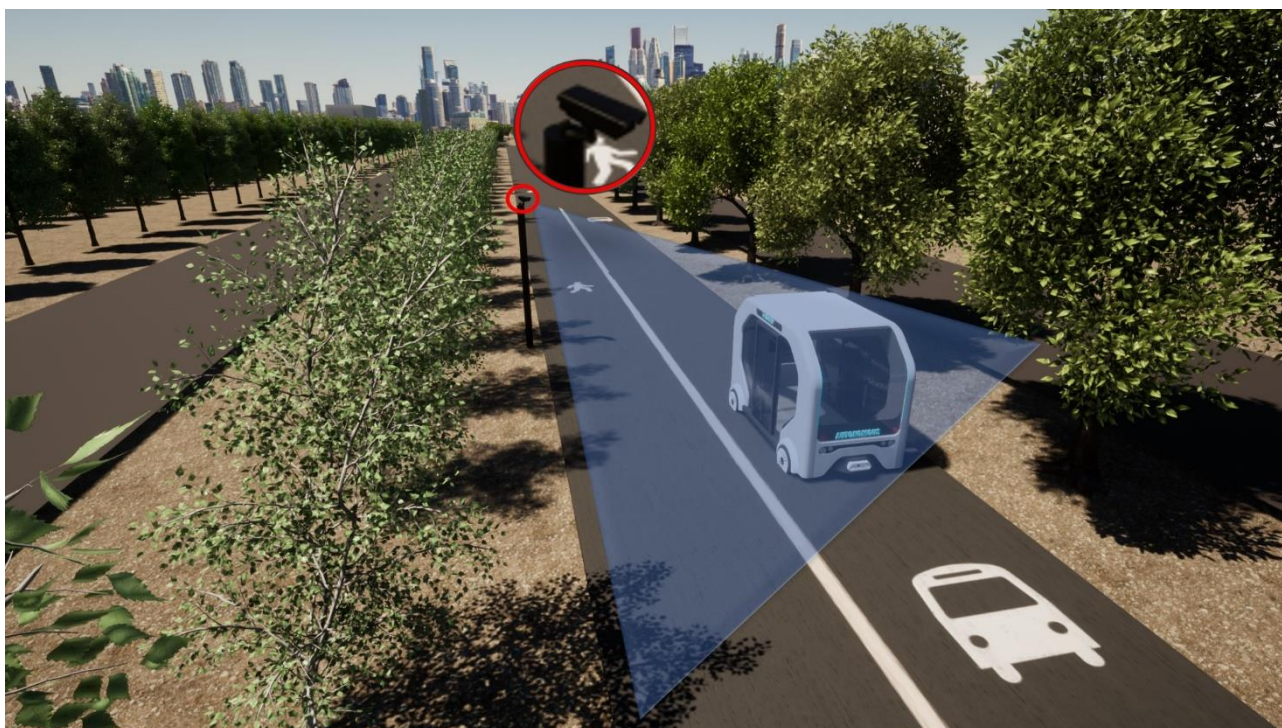


*Figure 15. Nombre total d'heures de vidéo (axe horizontal) par caméra (axe vertical) et mois (couleur) enregistrées pendant la période choisie pour l'analyse.*

A partir de ces données stockées, les séquences d'intérêt ont été extraites. Pour ça, on a utilisé : 1) les données GPS du VA (obtenues avec la DashCam installée à l'intérieur du véhicule) et 2) les coordonnées GPS (latitude et longitude) correspondant au champ de vision de toutes les caméras (c'est-à-dire, la zone surveillée par chaque caméra). Ce processus est détaillé ci-dessous.

### 3.3. Utilisation des données GPS pour l'identification des séquences d'intérêt

Comme mentionné précédemment, en plus des 7 caméras bord de voie installées, une DashCam a été installée à l'intérieur de la navette autonome. Cette caméra, en plus de fournir des vidéos de l'avant et de l'arrière de la navette autonome, stocke également des informations sur son positionnement géographique (informations GPS horodatées). Ainsi, à partir de ces informations, il est possible de reconstituer les trajectoires avec date et heure effectuées par le VA, qui, associées aux informations sur le champ de vision des caméras bord de voie (voir [Figure 16](#)~~Figure 16~~), permettent de connaître l'instant auquel la navette entre ou quitte la zone surveillée d'une caméra, comme illustré dans la [Figure 16](#)~~Figure 16~~. Donc, en utilisant cette idée il a été possible de découper les vidéos enregistrées afin de créer de petites vidéos qui ne contiennent que des séquences d'intérêt. La [Figure 17](#)~~Figure 17~~ illustre ce processus. A titre indicatif, il est précisé que l'extraction des séquences d'intérêt s'est faite automatiquement à l'aide d'un programme développé en interne sous le langage de programmation python. Cette procédure d'extraction automatique des données utiles fait gagner un temps précieux.



**Figure 16.** Navette dans le champ de vision d'une caméra.



7 caméras bord de voie avec un champ de vision connu



Position de la navette par GPS  
(données provenant de la DashCam)



Dashcam



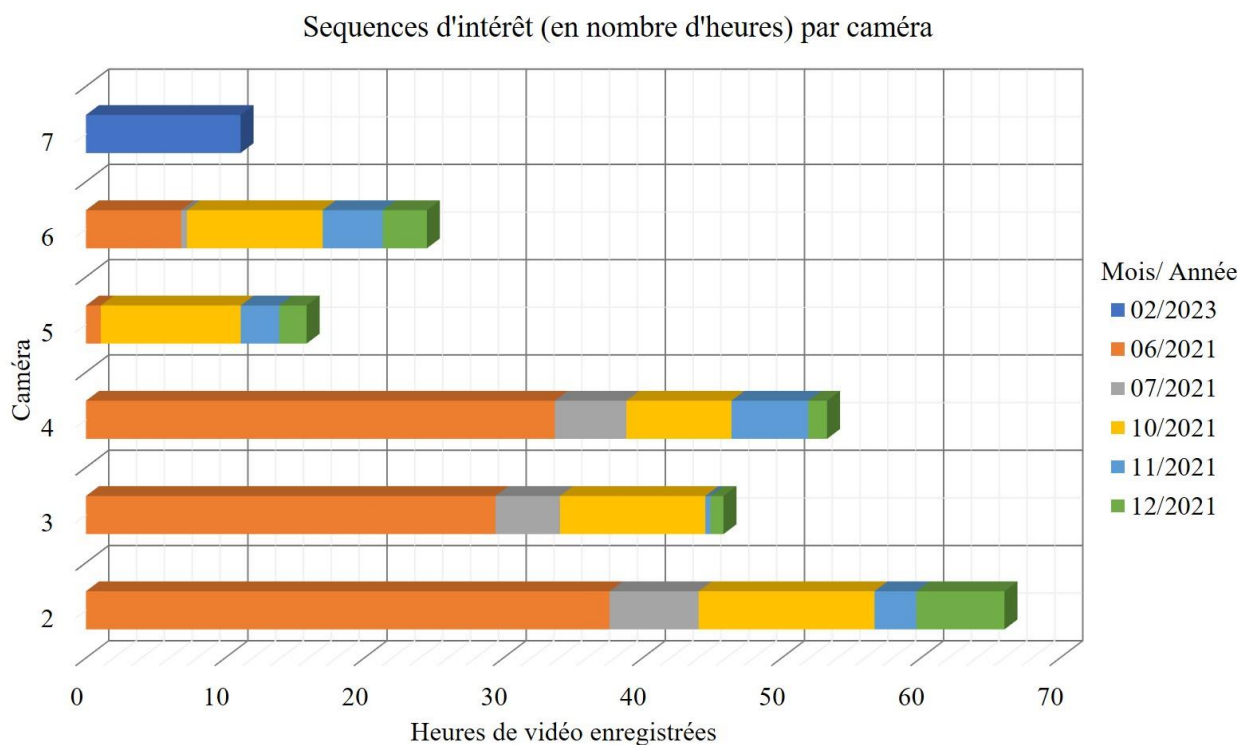
Extraire les fragments de vidéos où la navette est présente

**Figure 17.** Utilisation des données GPS (de la DashCam) et du champ de vision des caméras bord de voie (coordonnées latitude et longitude) pour obtenir les séquences d'intérêt à partir des vidéos enregistrées.

### 3.4. Séquences d'intérêt obtenues

Ainsi, à partir du processus décrit ci-dessus, environ 216 heures de vidéo correspondant aux séquences d'intérêt ont été obtenues. Comme prévu, la répartition de ces séquences n'est pas égale entre les caméras ; par exemple il y a plus de séquences d'intérêt provenant des caméras 2 et 4, qui correspondent à l'entrée de l'hôpital (où la navette fait aussi demi-tour) et l'entrée du giratoire plus la station-service sur le parking, respectivement.

La [Figure 18](#) montre la quantité de séquences d'intérêt (en heures de vidéo) obtenues par caméra. Sur cette figure, deux observations peuvent être faites : 1) en moyenne, le nombre d'heures vidéo où la navette est présente correspond à environ 10% de la quantité de données enregistrées, et 2) en plus du mois 08/2021 où aucune donnée n'a été enregistrée en raison d'un problème technique (décrit dans la section [3.2IV-2](#)), on constate qu'il n'y a pas de séquences d'intérêt pour le mois 09/2021 pour aucune des caméras, ce qui est dû, entre autres, au fait que la navette n'était pas en service ce mois-là.



*Figure 18. Séquences d'intérêt (en nombre d'heures) extraites par caméra.*

Une fois les séquences d'intérêt extraites, ces vidéos ont été traitées pour identifier et analyser les interactions entre le VA et les autres usagers de la route. Le dépouillement effectué est expliqué ci-dessous.

#### 4. Le dépouillement des données avec les grilles d'analyse

Comme dit en introduction, l'objectif de la tâche 5.3 dans le cadre du site de l'Oncopole est d'analyser le comportement des usagers (de toute nature) envers la navette autonome. Deux questions se posent alors :

- QR 2.2 : Quelles sont les situations observées ? (Caractérisation, description)
- QR 2.3: Ce comportement évolue-t-il au cours du temps ?

Nous avons travaillé sur la notion d'interaction entre usagers et navette. La navette va circuler sur un parcours prédéfini et en fonction des usagers présents sur le site, cette navette va se trouver en plus ou moins grande proximité des usagers. Par conséquent, ce que l'on appelle interaction ici c'est la plus ou moins grande proximité de la navette face aux usagers qu'elle rencontre, tel que défini à la section [3.1IV.4](#).

Un itinéraire est prédéfini pour la navette qui en naviguant va entrer tôt ou tard dans des zones surveillées par des caméras au sol. Les enregistrements des données étant réalisées en continu, on se retrouve pendant toute la campagne de mesures avec des films contenant à la fois la navette autonome et les usagers. Un filtrage préalable et automatique a permis de ne garder que les séquences vidéo où il y avait la navette, comme expliqué dans la section [3.3IV.3](#).

Afin de caractériser le comportement des usagers un protocole d'évaluation a été mis en place avec l'équipe [du Cerema](#) Normandie Centre. Il s'agit de définir un certain nombre d'indicateurs (présentés au chapitre [5V4](#)) qui vont permettre de qualifier les comportements sur les évaluations de la tâche 5.3.

Pour avoir un protocole d'évaluation similaire à Toulouse et à Paris ([autre site d'expérimentation SAM](#)), une même série d'indicateurs a été élaborée.

Le tableau illustré dans la [Table 1](#) décrit les indicateurs prédéfinis. Pour chacun d'entre eux nous proposons d'en donner la signification.

**Table 1.** *Tableau utilisé pour enregistrer l'évaluation visuelle des scénarios.*

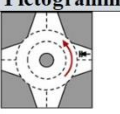
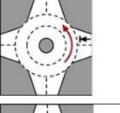
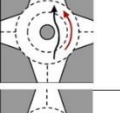
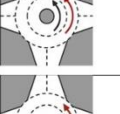

| Zone                | Fichier              | Sense de circulation de la navette | Début Scénario | Fin Scénario | Usager(s) en interaction | Interaction | Nombre d'impliqués (autre que VA) | Plage de distance approximée VA-Usager | Type de comportement adopté par l'utilisateur en fonction de sa distance à la navette |
|---------------------|----------------------|------------------------------------|----------------|--------------|--------------------------|-------------|-----------------------------------|--|---|
| Entrée de l'hôpital | Cam2_20210625_093611 | Hôpital                            | 9:38:57 AM     | 9:39:20 AM   | Piéton                   | D300        | 2                                 | 2m-10m                                 | Les usagers s'arrêtent pour voir passer la navette                                    |
| Giratoire           | Cam4_20211028_181205 | Parking                            | 6:13:59 PM     | 6:14:21 PM   | Bus                      | G201        | 1                                 | 2m-20m                                 | L'utilisateur donne la priorité à la navette  |
| Ligne droite        | Cam6_20210624_171708 | Hôpital                            | 5:19:52 PM     | 5:20:13 PM   | Cycliste                 | D201        | 1                                 | 2m-50m                                 | L'utilisateur considère que la navette est très loin                                  |

- Zone : c'est la zone qui a été filmée quand la navette et les autres usagers se trouvaient dans cette zone : Parking, giratoire, bâtiment Oncopole, passage piéton... sont les différentes zones d'interaction
- Fichier : le fichier contient la vidéo acquise lors de l'interaction. Elle est codée selon le no de caméra (CamX, avec X = 1 ... 7), la date (yyymmdd) et l'heure d'enregistrement (HHMMSS). Les fichiers exploités ont une durée d'environ 3 à 5 minutes et contiennent chacun entre 1 et 5 scénarios d'interaction
- Sens de circulation de la navette : La navette peut circuler du fond du site (Parking) vers l'entrée du bâtiment de l'Oncopole ou bien faisant le chemin inverse. Dans chaque sens, plusieurs arrêts sont prévus pour embarquer des personnes
- Début scénario : c'est l'heure de début d'interaction entre la navette et un ou plusieurs usagers
- Fin scénario : c'est l'heure de fin d'interaction entre la navette et un ou plusieurs usagers
- Usager en interaction : quel type d'usager est en interaction avec la navette
- Interaction : une classification du type d'interaction en pictogrammes a été réalisée montrant les types d'interaction (ces pictogrammes figurent dans le tableau ci-dessous)
- Nombre d'usagers impliqués (autres que navette autonome)
- Plage de distance approximée : distance de début et fin d'interaction entre les usagers et la navette dans un scénario donné
- Type de comportement adopté par l'utilisateur en fonction de sa distance à la navette : (travail réalisé scénario par scénario et exigeant une vision d'expert. Description du comportement adopté par l'utilisateur en fonction de sa distance à la navette

**Table 2.** *Dictionnaire des interactions pour les zones : Entrée de l'hôpital, ligne droite entre l'hôpital et le parking, et passage piéton avant le giratoire.*

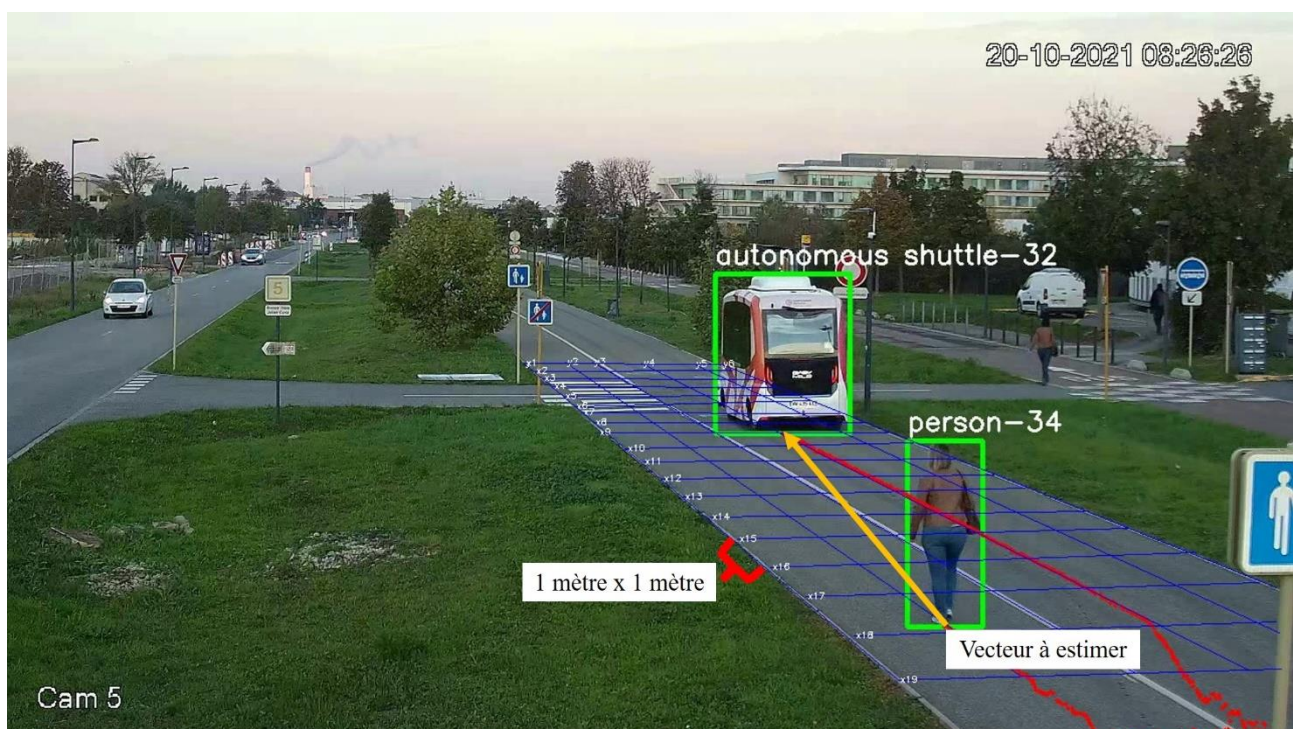
| Pictogramme   | ID   | Résumé   |
|---|------|--|
|    | D100 | UVR traversant la trajectoire de la navette hors intersection  |
|    | D101 | UVR traversant la trajectoire de la navette en intersection matérialisée   |
|    | D200 | UVR marchant à côté du VA dans dans le même sens, interaction avec une forte proximité   |
|    | D201 | UVR empruntant abusivement la voie du VA, les deux se déplaçant dans le même sens. L'UVR est un obstacle   |
|    | D300 | UVR passant à côté du VA (les deux étant très proches) dans le sens opposé, interaction forte  |
|    | D301 | UVR envahissant temporairement la voie du VA et se déplaçant dans le sens opposé   |
|   | D400 | UVR empruntant la voie du VA lorsque le VA est loin (> 50 mètres)  |
|  | D500 | A proximité de la navette, un usager fait un écart pour doubler un autre usager, interaction pouvant être dangereuse car rapprochant l'usager qui double de la navette |
|  | D600 | Passage de l'usager derrière le VA lorsque le VA fait marche arrière   |
|  | D700 | La navette empruntant la voie piétonne pour rejoindre le rond-point, obligeant le piéton à s'arrêter / sortir de la route / changer de direction                       |

**Table 3. Dictionnaire des interactions pour le giratoire.**

| Pictogramme   | ID   | Résumé   |
|---|------|--|
|  | G201 | La navette parcourt le giratoire, passant devant une entrée/sortie avec des véhicules à l'arrêt car ils n'ont pas la priorité              |
|  | G202 | La navette parcourt le giratoire, passant devant une entrée/sortie avec des véhicules s'approchant lentement car ils n'ont pas la priorité |
|  | G203 | La navette parcourt le giratoire et est dépassée par la gauche par un véhicule coupant la courbure du giratoire. Interaction dangereuse    |
|  | G204 | VL/PL/2RM passant à côté du VA en empruntant l'anneau intérieur, interactions multiples en fonction du nombre d'usagers                    |
|  | G205 | La progression lente de la navette qui ralentit le trafic à l'intérieur du rond-point. Coups de freins soudains possibles                  |

## 5. Méthodologie de remplissage des grilles d'analyse

Une fois les données recueillies, nous sommes en possession d'environ 450 scénarios d'interaction entre la navette et les autres usagers. Dans la base de données globale, il y en a plus mais avec cet effectif de 450, cela est largement suffisant. En traiter davantage revient à traiter des scénarios répétitifs. Dans la grille d'analyse initiale, la distance entre les usagers et la navette n'y figurait pas. Nous avons décidé d'estimer cette distance qui a une forte influence sur le comportement des usagers vis à vis de la navette. Pour effacer les effets de perspective, cette distance a été estimée à l'aide d'une mire projetée au sol. La [Figure 19](#) illustre un exemple de cette mire composée de carrés de 1 mètre x 1 mètre. Pour estimer la distance euclidienne entre deux objets, on estime d'abord la position des deux objets à l'intérieur de la grille, puis on compte le nombre de carrés qui séparent en ligne droite les objets (e.g., estimer la longueur du vecteur en jaune sur la [Figure 19](#)), ce qui nous donne une estimation en mètres de la distance qui les sépare.



**Figure 19.** Grille avec des carrés de 1 mètre x 1 mètre utilisée pour estimer la distance entre les objets de la scène.

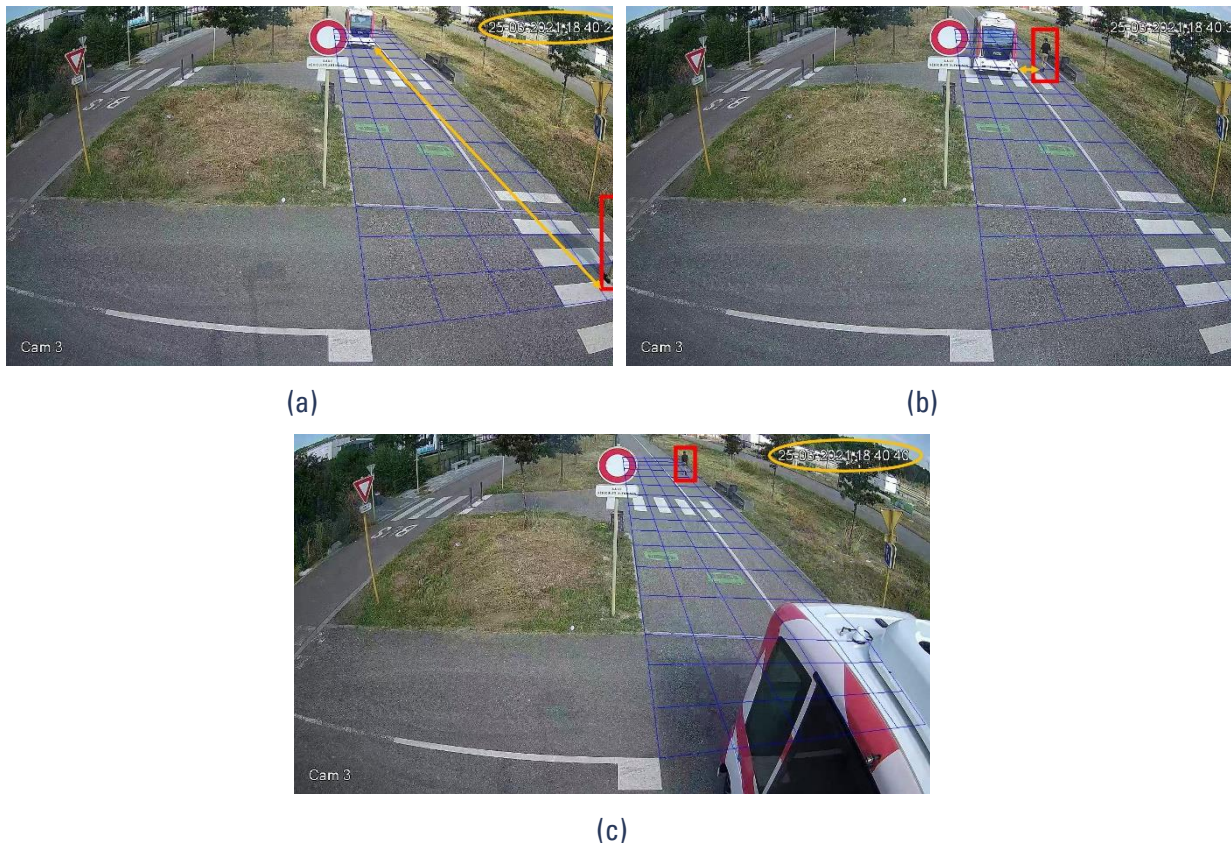
Le travail d'interprétation des scènes (scénarios) a été effectué par des personnes travaillant depuis plusieurs années dans le domaine de la sécurité routière. A chaque personne une zone spécifique est affectée : entrée/sortie du bâtiment d'Oncopole, ligne droite, arrivée au giratoire, giratoire lui-même. Chaque expert se voit donc attribuer en fonction de sa zone d'interprétation une série de films, qui contiennent chacun une série de scénarios. Pour chaque scénario il s'agit de remplir une ligne du tableau illustré dans la [Table 1](#), qui regroupe l'ensemble des films/scénarios. Dans chaque film, l'expert doit repérer les débuts et fins d'interactions entre la navette et les autres usagers compte tenu de la vitesse de la navette, il n'est pas difficile de distinguer les scénarios entre eux. Malgré tout, certains scénarios sont difficiles à séparer. L'évaluation de la distance est une très bonne aide à l'interprétation.

La [Figure 20](#) illustre comment une interaction est analysée pour son enregistrement dans la [Table 1](#). Pour commencer, le début d'un scénario est lorsque les deux objets se trouvent dans la même scène (ou image), comme illustré dans l'image (a) (en haut à gauche). Lorsque cela se produit, l'heure de début de l'interaction est notée (l'heure apparaît à droite, entourée d'un cercle jaune), le type et le nombre

d'utilisateurs en interaction (qui dans ce cas n'est qu'un piéton, entouré d'un rectangle rouge), ainsi que la distance initiale de l'interaction (la flèche jaune sur l'image représente cette distance, qui dans ce cas est d'environ 12 carrés, équivalent à 12m).

Ensuite, en continuant à observer l'interaction, on constate qu'il y a un rapprochement entre la navette et l'utilisateur (comme illustré sur l'image (b) (en haut à droite)), ce qui génère une distance minimale, qui est enregistré dans le [Table 1](#).

Enfin, en continuant à observer l'interaction, on constate que l'un des objets quitte la scène (dans ce cas la navette autonome), on note donc l'heure de l'événement (l'heure apparaît à droite, entourée d'un cercle jaune) et l'interaction est terminée. Ceci est illustré dans la figure (c) (image en bas au centre).



**Figure 20.** Exemple de gestion d'une interaction. Le début de l'interaction est illustré en (a), la distance minimale en (b) et la fin de l'interaction en (c).

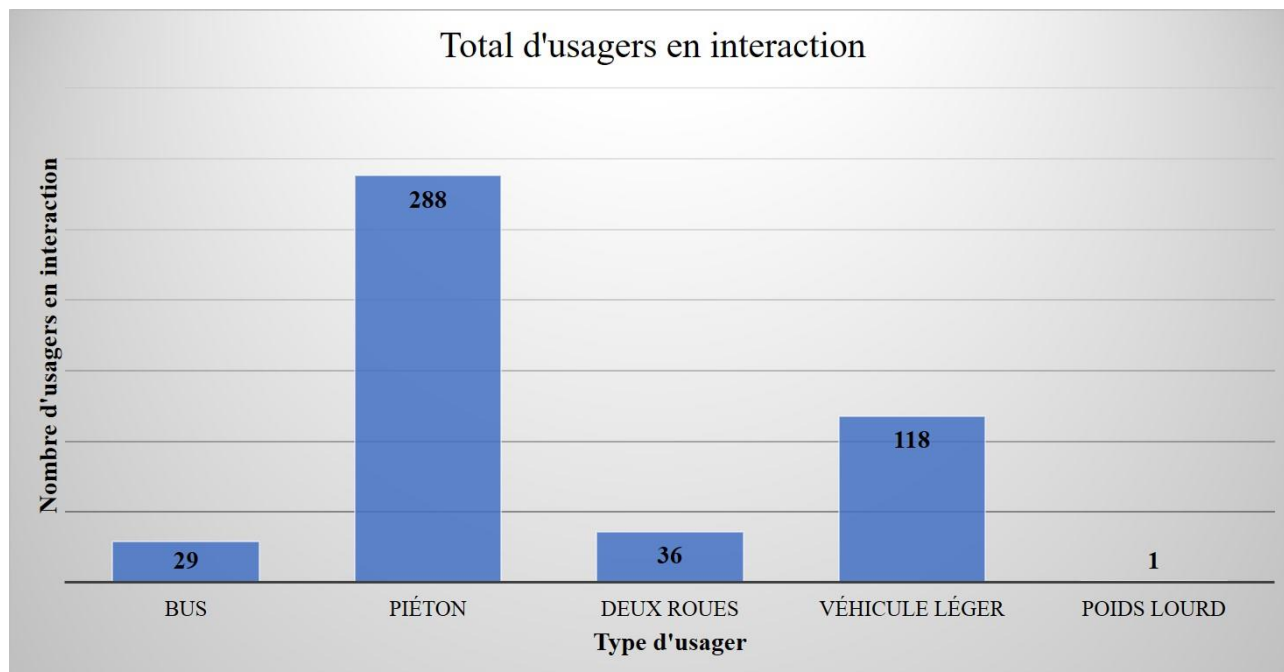
## 6. Résultats globaux à partir des interactions entre navette autonome et usagers

Les sections suivantes fournissent les principaux résultats qualitatifs et quantitatifs obtenus à partir de l'analyse.

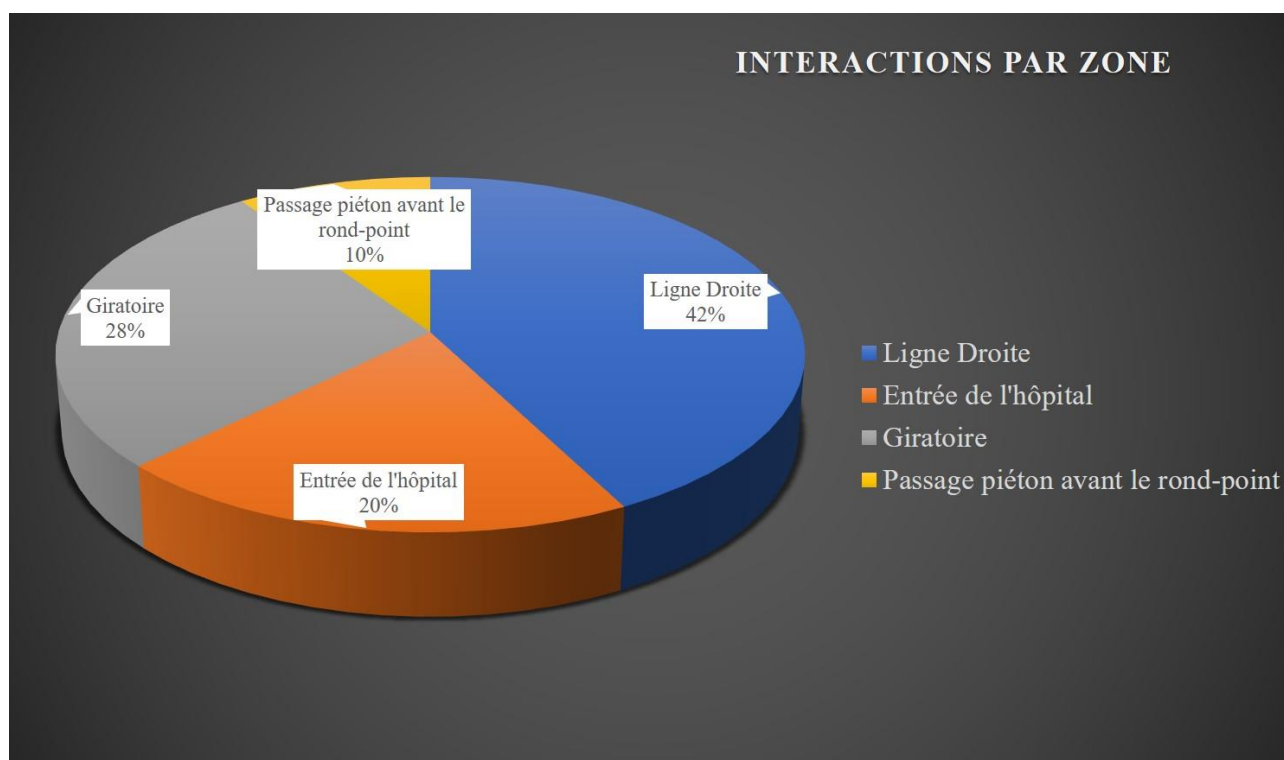
### 6.1. Analyse quantitative des données d'interaction entre la navette autonome et les autres usagers

Dans ce paragraphe un certain nombre de données numériques sont fournies. Cela permet de mieux connaître le contenu de la base de données et le type d'utilisateurs présent sur le site de l'Oncopole pendant l'évaluation.

La nature du site amène à constater une surreprésentation des usagers piétons. Ce constat est illustré sur la [Figure 21](#). En général, la plupart des interactions (quel que soit le type d'utilisateur) se produisent dans la ligne droite (entre le giratoire et l'entrée de l'hôpital) et dans le giratoire, comme l'indique la [Figure 22](#).



*Figure 21. Nombre total d'utilisateurs enregistrés interagissant avec la navette autonome.*



*Figure 22. Pourcentage d'interactions enregistrées par zone.*

Comme illustré dans la [Figure 23](#), les piétons sont très présents en entrée/sortie d'hôpital, sur la ligne droite, ce qui occasionne de nombreuses interactions avec la navette autonome. A l'inverse sur le giratoire ce sont les voitures, bus, camions... qui rentrent en interaction avec la navette. Malgré sa taille, ce site d'expérimentation rassemble plusieurs caractéristiques très intéressantes : zones très différentes, interactions différentes et types d'utilisateurs différents.

Usagers de la route interagissant avec le VA

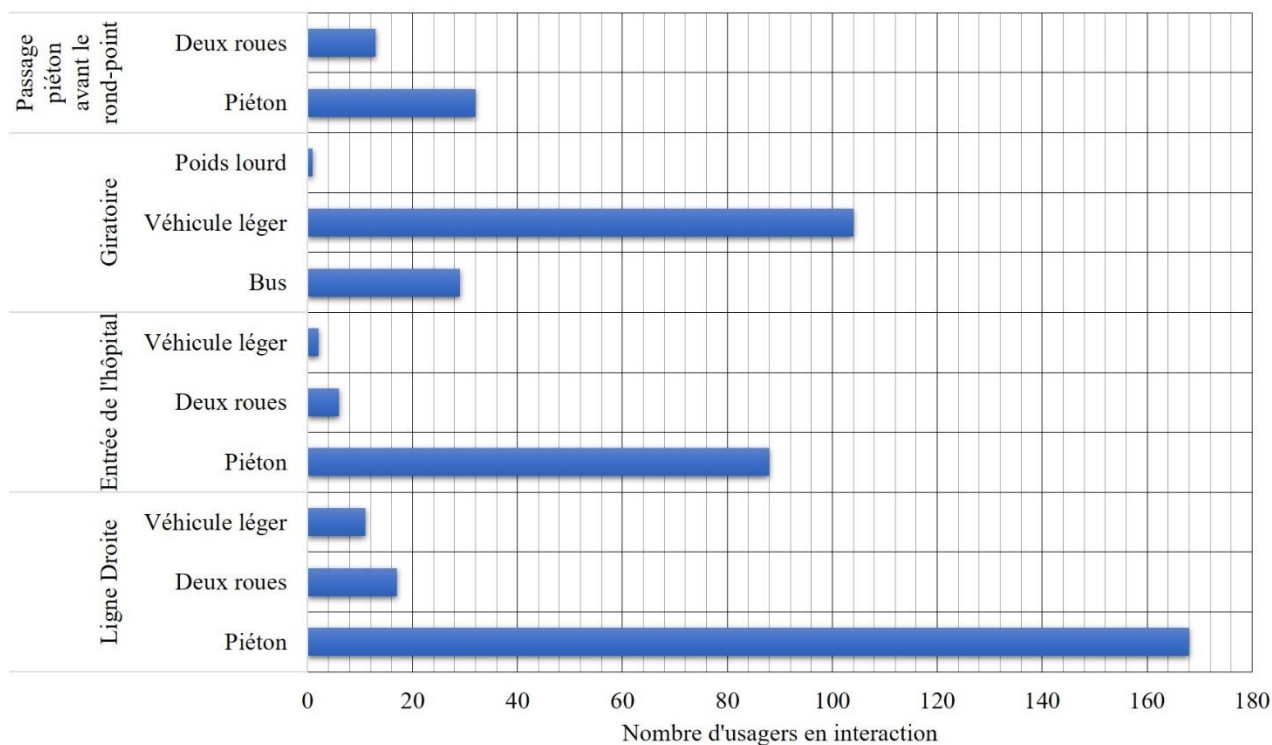


Figure 23. Nombre et types d'utilisateurs par zone.

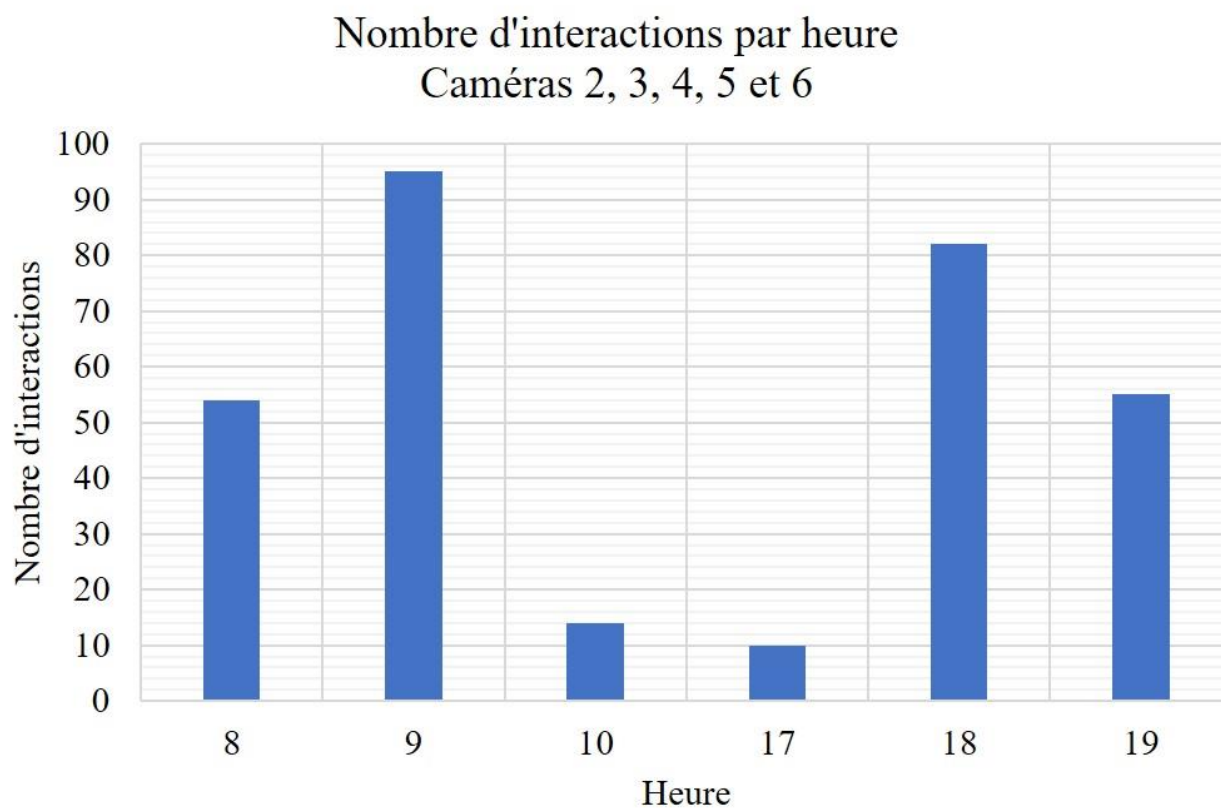
Dans le tableau [Table 44](#), on constate que le type d'interaction est corrélé avec le type d'utilisateurs qui lui-même est corrélé avec la zone considérée de l'itinéraire.

Table 4. Type d'interaction par zone et par type d'utilisateur.

| Zone / Usager                             | Type d'interaction |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Grand Total |     |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-----|
|   | D100               | D101 | D200 | D201 | D300 | D301 | D400 | D500 | D600 | D700 | G201 | G202 | G203 | G204 | G205 |             |     |
| <b>Ligne Droite</b>                       |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |     |
| Deux roues                                |                    | 1    | 4    |      | 4    | 1    | 7    |      |      |      |      |      |      |      |      |             | 17  |
| Piéton                                    | 1                  |      | 56   | 2    | 79   | 8    | 19   | 1    | 1    | 1    |      |      |      |      |      |             | 168 |
| Véhicule léger                            |                    | 4    |      | 2    |      |      | 4    |      |      |      |      |      |      |      |      |             | 10  |
| <b>Entrée de l'hôpital</b>                |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |     |
| Deux roues                                |                    |      | 2    |      |      | 1    | 1    |      | 1    |      |      |      |      |      |      |             | 5   |
| Piéton                                    |                    |      | 13   | 4    | 39   | 8    | 10   |      | 13   |      |      |      |      |      |      |             | 87  |
| Véhicule léger                            |                    |      |      |      |      | 1    | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |             | 2   |
| <b>Giratoire</b>                          |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |     |
| Bus                                       |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 3    | 8    | 1    | 11   | 3    |             | 26  |
| Poids lourd                               |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |             | 1   |
| Véhicule léger                            |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 17   | 17   | 5    | 53   | 9    |             | 101 |
| <b>Passage piéton avant le rond-point</b> |                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |     |
| Deux roues                                |                    | 13   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             | 13  |
| Piéton                                    |                    | 22   |      |      | 2    |      | 3    |      | 1    | 4    |      |      |      |      |      |             | 32  |
| <b>Grand Total</b>                        | 1                  | 40   | 75   | 8    | 124  | 19   | 45   | 1    | 16   | 5    | 20   | 25   | 7    | 64   | 12   |             | 462 |

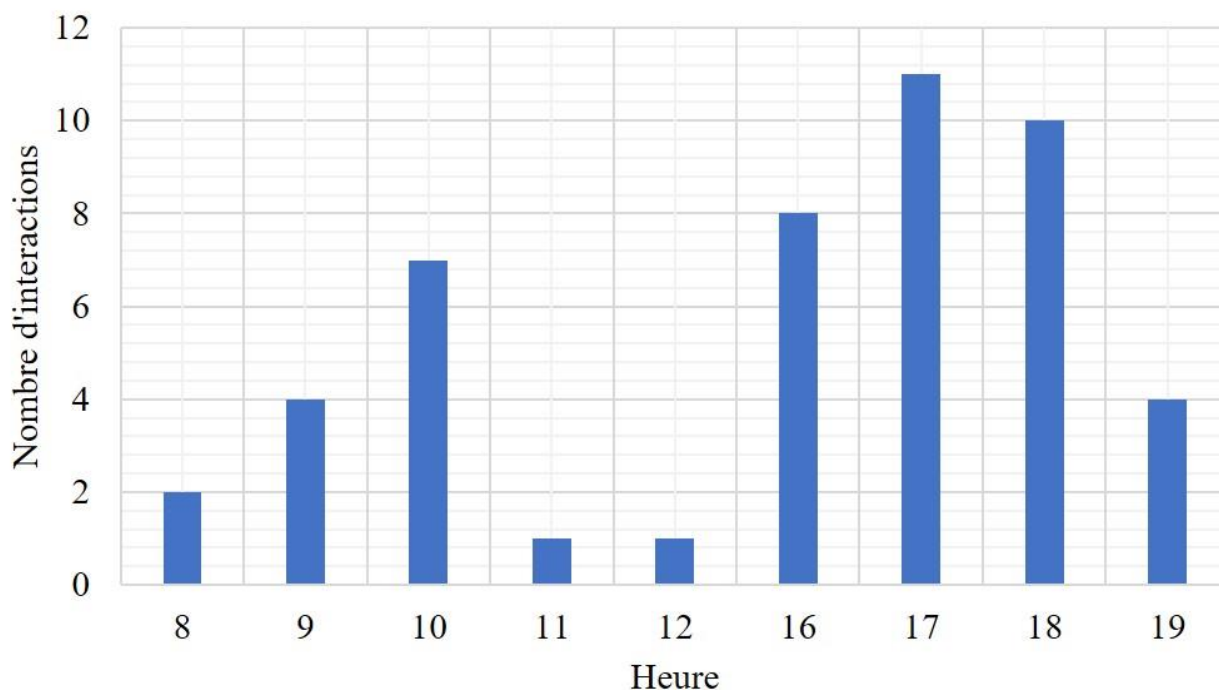


D'autre part, la [Figure 24](#) et la [Figure 25](#) montrent le nombre d'interactions en fonction de l'heure de la journée, en rappelant que pour les caméras 2, 3, 4, 5 et 6 les créneaux choisis pour l'analyse sont de 8h à 10h et de 17h à 19h, tandis que pour la caméra 7, tous les horaires ont été analysés.



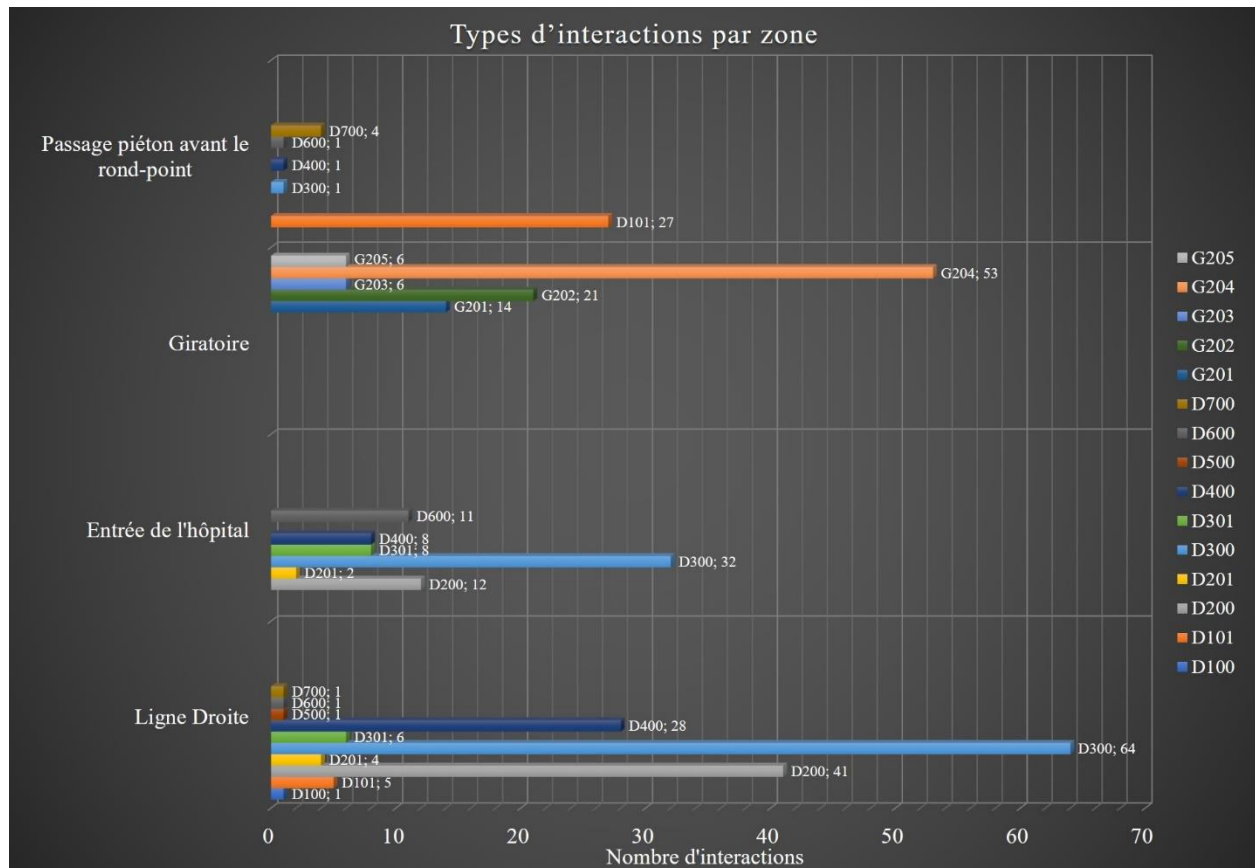
*Figure 24. Nombre d'interactions selon l'heure, caméras 2, 3, 4, 5, et 6.*

## Nombre d'interactions par heure Caméra 7



**Figure 25.** Nombre d'interactions selon l'heure, caméra 7.

Le type et nombre d'interactions par zone montre qu'en nombre absolu, il y en a beaucoup sur la ligne droite et surtout avec des piétons. Beaucoup d'interactions aussi sont observées sur le giratoire. Les 4 zones prédéfinies et le type d'interaction choisi permet d'observer comment se déroule la cohabitation entre la navette et les autres usagers dans plusieurs configurations très différentes ([Figure 26](#)).



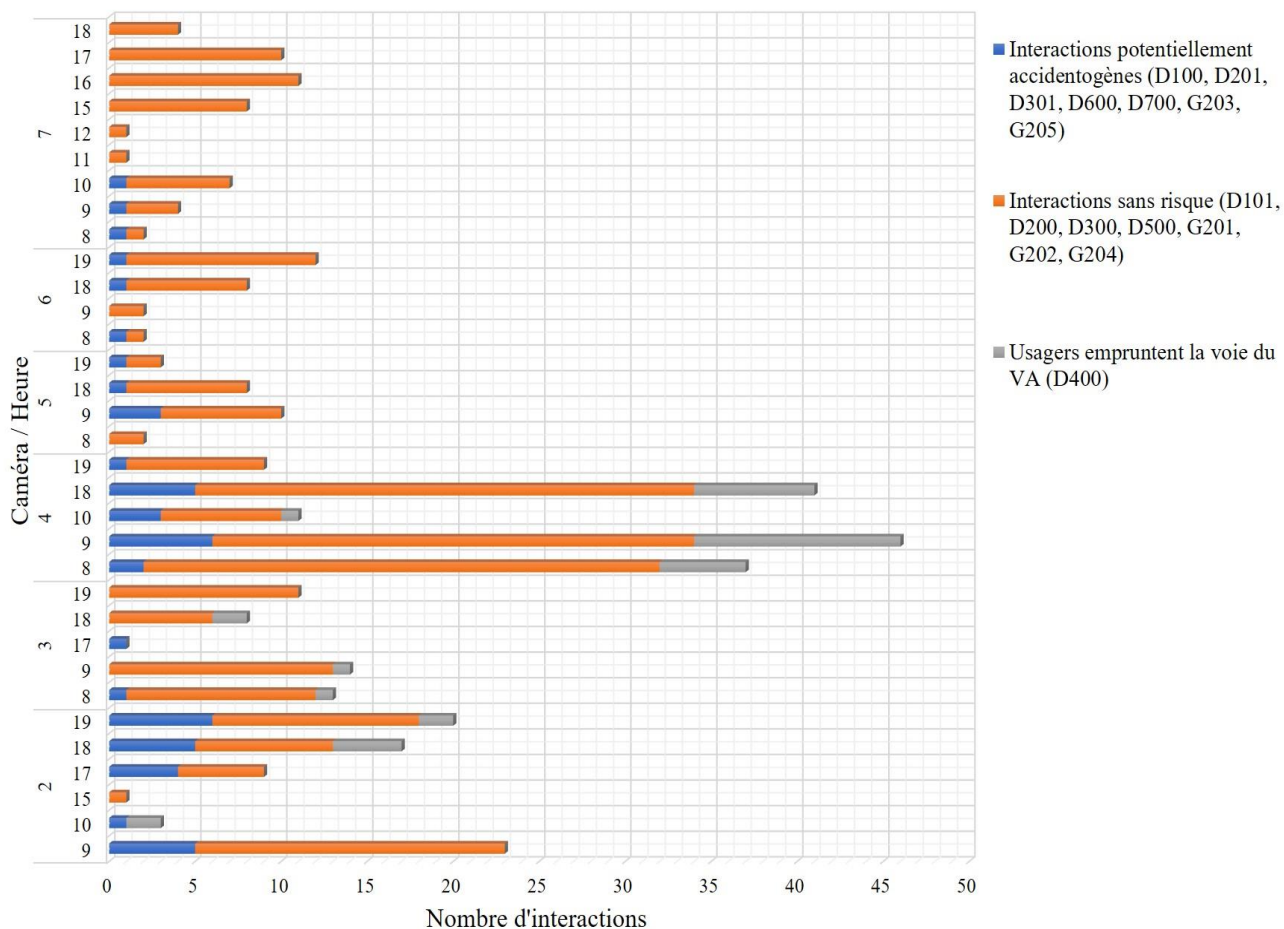
**Figure 26.** Type et nombre d'interactions par zone.

Pour faciliter la visualisation des résultats, à partir des classes d'interaction définies dans les tableaux [Table 22](#) et [Table 33](#) une agrégation a été réalisée pour généraliser trois types d'interaction :

- Des situations sans risque réel (correspondant aux classes d'interaction : D101, D200, D300, D500, G201, G202 et G204)
- Des situations correspondant à des usagers empruntant la voie de la navette (classes d'interaction : D201, D301 et D400)
- Des situations potentiellement accidentogènes (classes d'interaction : D100, D600, D700, G203 et G205)

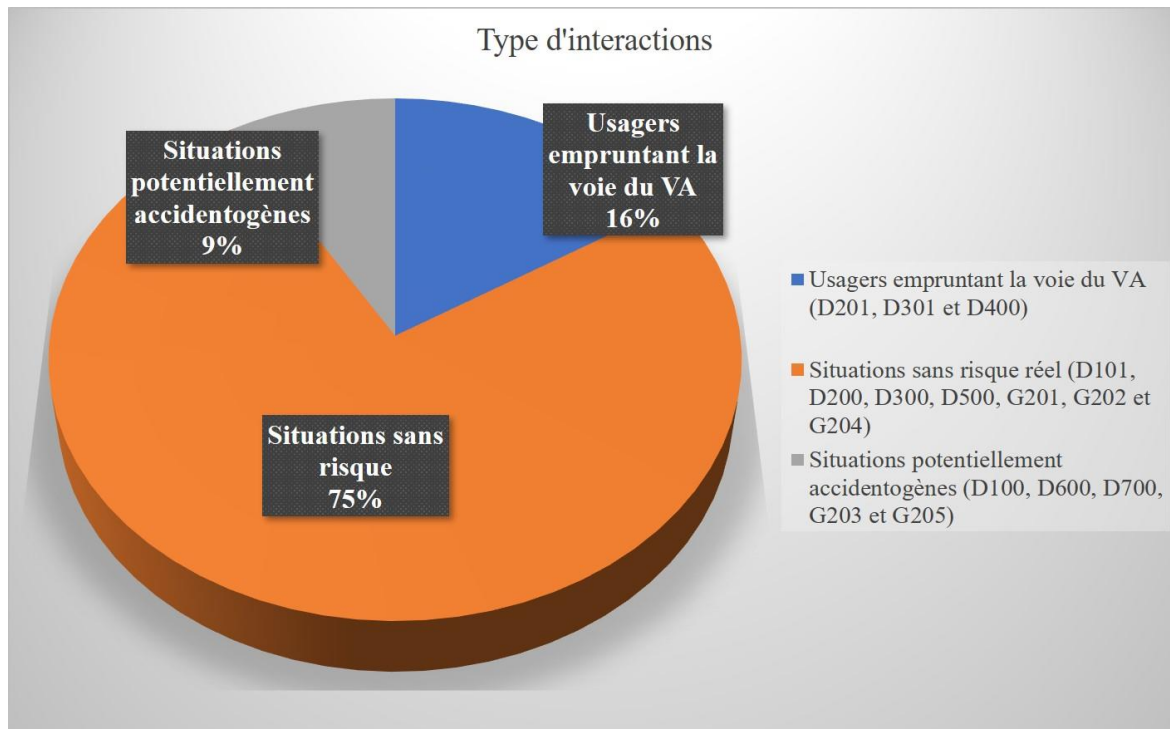
En utilisant cette agrégation, la [Figure 27](#) qui fournit les résultats en distinguant le type d'interaction par caméra.

### Nombre d'interactions par caméra et heure



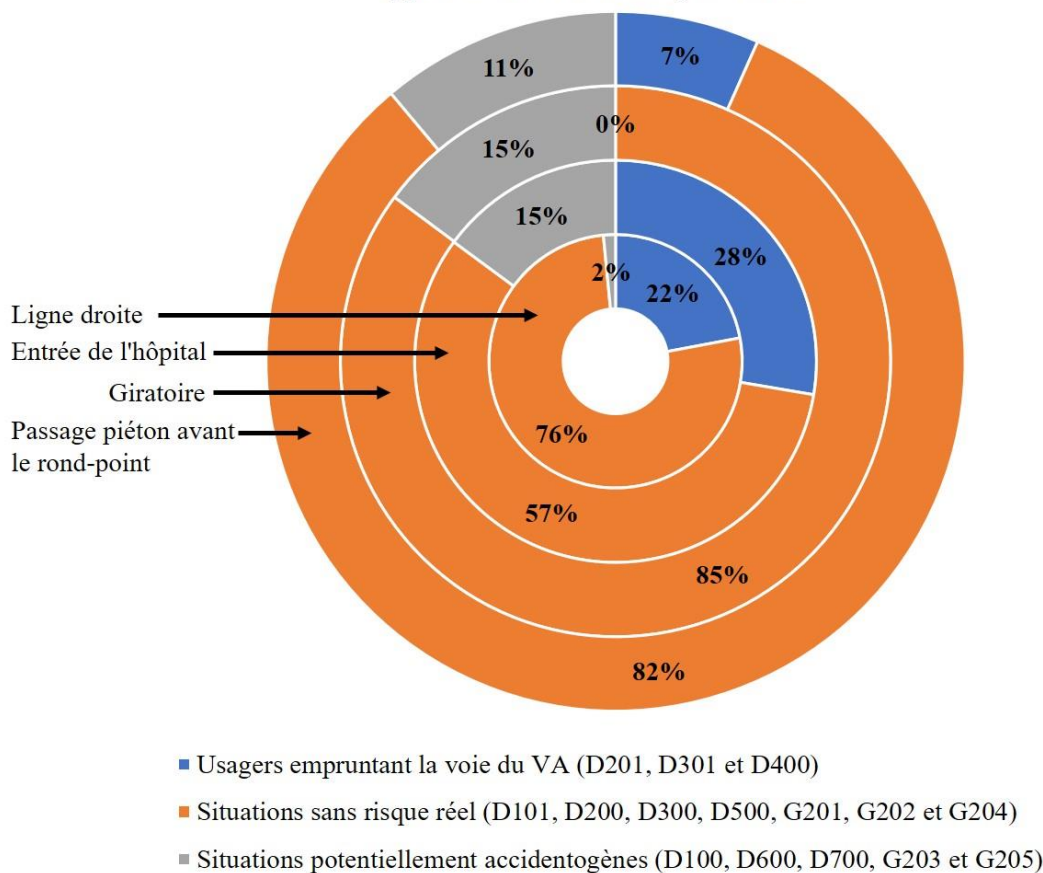
*Figure 27. Nombre et types d'interactions par caméra et par heure.*

La [Figure 28](#) illustre les pourcentages des trois types d'interactions trouvées à partir de l'analyse des vidéos : 75% des situations sans risque réel, 16% correspondant à des usagers empruntant la voie de la navette, et 9% des situations potentiellement accidentogènes. La [Figure 29](#) développe ce résultat en illustrant le pourcentage des trois types d'interactions par zone. Sur cette figure, on peut voir que l'entrée de l'hôpital et le giratoire sont les zones avec le plus grand pourcentage de situations potentiellement accidentogènes, tandis que dans la ligne droite il y a un très faible pourcentage de ce type de situations, même si c'est dans cette zone que se déroulent le plus grand nombre d'interactions, comme l'illustre la [Figure 22](#).



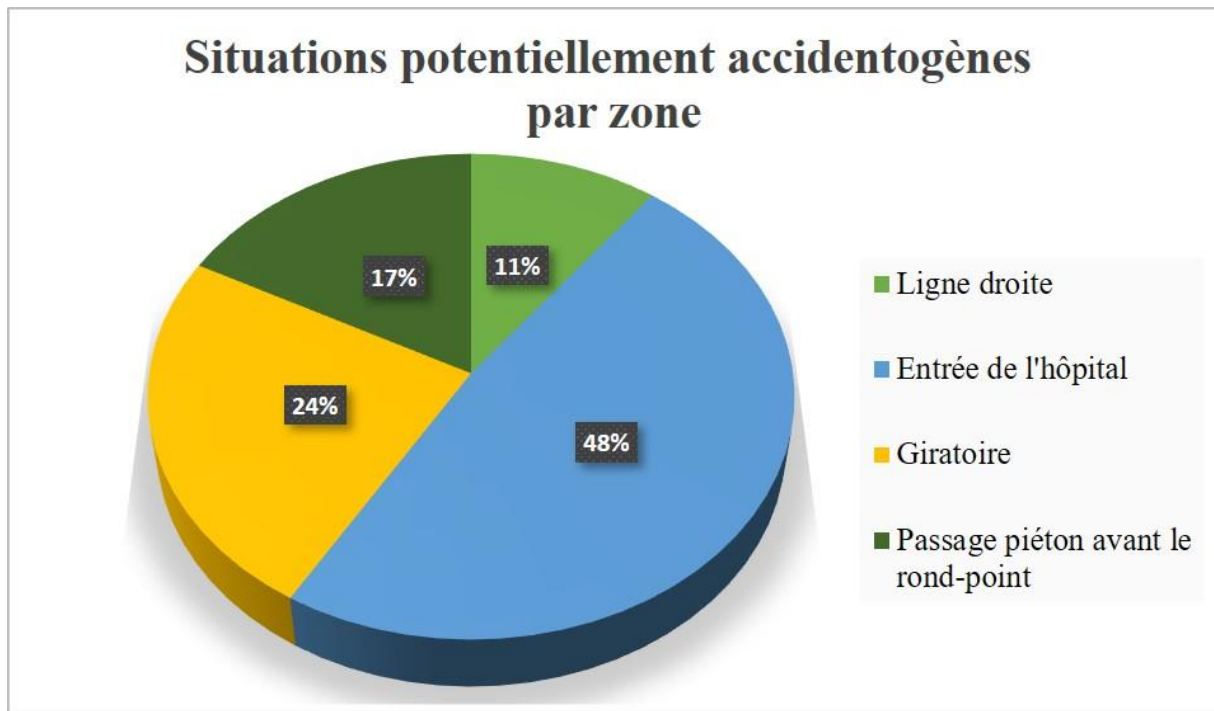
**Figure 28.** Type d'interactions. Pour cette analyse, « Situations sans risque réel » sont les interactions D101, D200, D300, D500, G201, G202, et G204; « Usagers empruntant la voie du VA » sont les interactions D201, D301 et D400; et « Situations potentiellement accidentogènes » sont les interactions D100, D600, D700, G203 et G205

### Types d'interactions par zone



**Figure 29.** Types d'interactions par zone.

La ~~Figure 30~~ **Figure 30** montre la distribution (pourcentage) des situations potentiellement accidentogènes dans les différentes zones de l'itinéraire de la navette. C'est la zone entrée/sortie de l'hôpital qui accumule le plus de situations potentiellement accidentogènes. Vient ensuite le giratoire où les autres usagers roulent beaucoup plus vite que la navette. Les interactions à l'interface entre la ligne droite et le giratoire ainsi que les interactions en ligne droite ferment la marche.



**Figure 30.** *Situations potentiellement accidentogènes (interactions de type D100, D600, D700 et G203).*

La Figure 31 montre que le type d'interaction n'est pas forcément lié à la proximité entre la navette et les autres usagers.

Dans notre recherche, le niveau de danger n'est pas forcément liée à la distance à la navette. Un comportement dangereux peut-être observé même en absence de la navette. C'est ce que veulent montrer la Figure 31 et la Figure 32.

Distance moyenne à la navette par type d'interaction

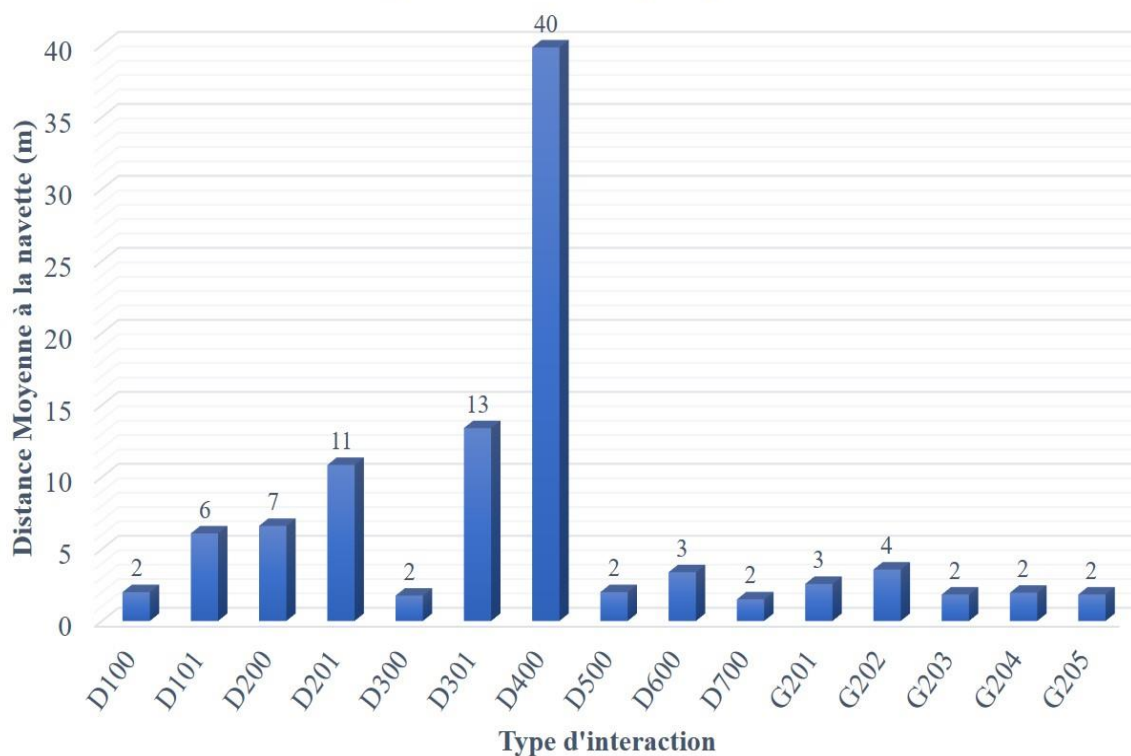


Figure 31. Distance moyenne selon le type d'interaction.

Distance moyenne à la navette selon le type d'interaction

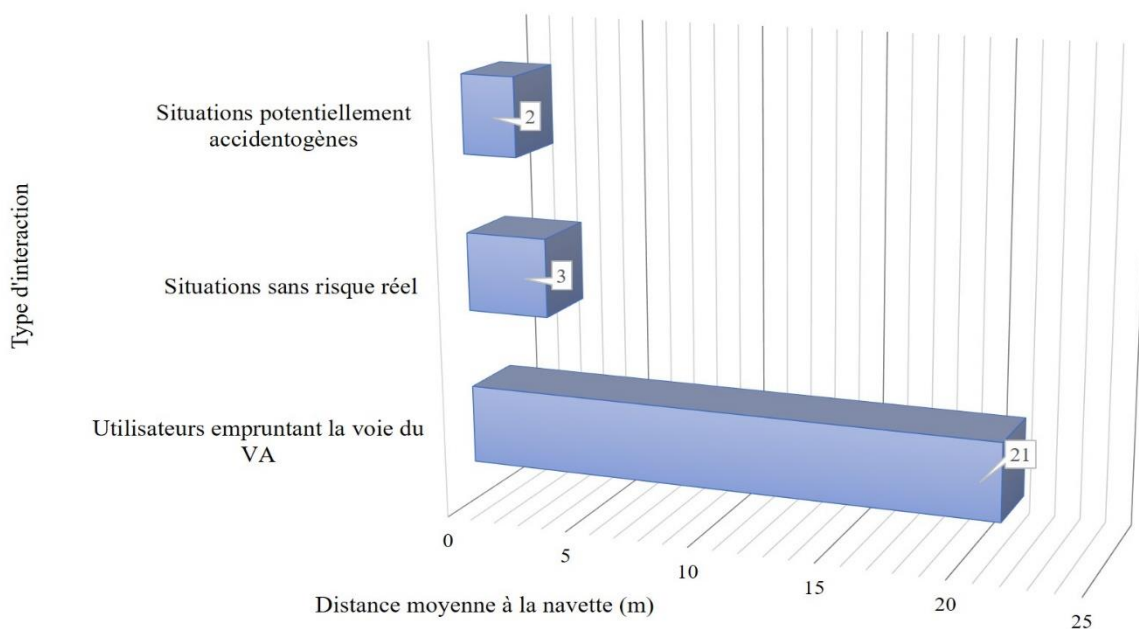


Figure 32. Distance moyenne selon trois classes d'interaction : « Situations sans risque réel » sont les interactions D101, D200, D300, D500, G201, G202, et G204 et G205 ; « Usagers empruntant la voie du VA » sont les interactions D201, D301 et D400 ; et « Situations potentiellement accidentogènes » sont les interactions D100, D600, D700 et G203.



Cette section termine le descriptif quantitatif des 450 scénarios que nous avons traités. Cette étude est complétée par une étude qualitative où des experts en sécurité routière ont fait une analyse visuelle et noté le comportement respectif de la navette et des autres usagers. Cela fait l'objet du paragraphe qui suit.

## 6.2. Variable qualitative comportementale

Pour chaque scénario traité, nous avons ajouté la variable comportement observé de l'utilisateur vis à vis de la navette ; l'utilisateur pouvant être un ou plusieurs piétons, des vélos, des voitures, etc.

### 6.2.1. Analyse globale

Cette analyse est effectuée sans tenir compte des zones surveillées. L'analyse de contenu de ce qu'on a traité conduit à observer les phénomènes suivants :

- Globalement et très rapidement la navette EasyMile, de par son apparence, est considérée comme un véhicule exotique et fait entrer les usagers dans un environnement expérimental
- La majorité des usagers faisant le parcours du fond du site jusqu'à l'entrée de l'Oncopole ont emprunté au moins une fois la navette et se sont donc fait expliquer l'objectif de l'expérimentation. Cela influence fortement leur comportement par la suite. La majorité est partie prenante des progrès réalisés dans le domaine des véhicules autonomes
- L'aspect expérimental est très vite intégré par les usagers qui petit à petit cohabitent avec la navette sans générer de danger réel
- On observe un comportement interrogatif de la part des usagers lors de la première rencontre avec la navette mais cet étonnement disparaît rapidement au fil du temps amenant les usagers à ne plus faire attention à la navette. Ceci est illustré sur la [Figure 33](#)



**Figure 33.** Différents types de réactions chez les utilisateurs qui croisent le véhicule autonome. Le rectangle rouge montre un groupe de piétons très attentifs au passage de la navette autonome, tandis que le piéton indiqué par le rectangle jaune semble habitué à son passage.

## 6.2.2. Analyse par zone de surveillance du comportement des usagers vis à vis de la navette

Dans cette analyse nous avons considéré 4 zones bien différentes sur le parcours de la navette. Ces zones sont décrites ci-dessous.

### *Entrée/Sortie du bâtiment de l'Oncopole*

Cette zone sert d'entrée/sortie pour les usagers allant ou venant de leur visite. C'est une zone mixte qui reçoit surtout des piétons, parfois nombreux. Cette zone représente aussi le demi-tour que fait la navette quand elle arrive à l'entrée de l'Oncopole et qu'elle a déposé des usagers. Comme on peut le voir sur la [Figure 34](#) cette zone peut être très empruntée par des usagers en présence ou non de la navette. Le comportement des piétons dans cette zone est assez erratique, parfois un peu surpris par la navette faisant demi-tour. Cette zone est sous la surveillance de la caméra 2.



**Figure 34.** Exemple des types de scénarios présents à l'entrée de l'hôpital Oncopole. Cette zone est sous la surveillance de la caméra 2.

### *Ligne droite allant de la sortie Oncopole vers le giratoire*

Cette partie de l'itinéraire est une ligne droite qui comprend un passage piéton au milieu. Le long de la ligne droite deux zones sont matérialisées indiquant les endroits où les usagers piétons surtout doivent se déplacer et une zone matérialisée indiquent la voie à emprunter par la navette autonome. Les caméras 3, 4, 5 et 6 surveillent cette zone : 3, 4 et 6 vers le giratoire. La caméra 4 est tout près du giratoire ce qui permet d'observer le comportement des usagers de tous types sur le giratoire. La caméra 5 surveille la ligne droite en direction du bâtiment d'Oncopole. La [Figure 35](#) montre quelques exemples de scénarios que vous trouverez dans cette zone.



**Figure 35.** Quelques exemples de scénarios rencontrés dans la zone en ligne droite entre l'entrée de l'hôpital et le parking. Cette zone est surveillée par les caméras 3 (en haut à gauche), 4 (en haut à droite), 5 (en bas à gauche) et 6 (en bas à droite).

Dans cette zone les usagers sont en interaction avec la navette de deux manières :

- Soit ils sont doublés par la navette lorsqu'ils quittent l'Oncopole et dans le cas d'un comportement adéquat, les piétons sont doublés avec une distance à la navette de 1 à 2 m (voir [Figure 35](#) – caméra 3), ce qui est très proche mais qui n'a suscité aucun danger durant toute la campagne. Ceci démontre le bon fonctionnement de la navette qui reste dans sa voie et ce qui génère par conséquent une confiance totale des usagers envers la navette. Parfois, on observe des usagers marchant dans la voie navette et se rabattant rapidement dans leur voie à l'approche de la navette. Lorsqu'un piéton se retrouve comme obstacle devant la navette, cette dernière s'arrête instantanément ; Nous avons nous mêmes fait quelques essais. Parfois, on observe que des piétons marchent sur la voie navette mais une fois celle-ci passée
- Soit la navette et les usagers se croisent face à face et dans ce cas chacun reste dans son couloir de circulation. Là aussi la connaissance de l'existence de la navette par les usagers les met en confiance et il est toléré des croisements avec une distance très proche (1 à 2 m, illustré dans la [Figure 35](#) – caméra 5). Par contre, certains piétons s'autorisent à emprunter la voie de la navette une fois qu'ils ont croisé celle-ci. Ceci arrive lorsque des piétons doublent d'autres piétons (illustré dans la [Figure 35](#) – caméra 6). Ce comportement serait potentiellement accidentogène si on faisait circuler plusieurs navettes

Au passage piéton surveillé par la caméra 3, certains piétons adoptent un comportement inadéquat. Au lieu de traverser le passage perpendiculairement, ils adoptent une trajectoire oblique, empruntant ainsi la voie dédiée à la navette. Ce comportement n'obéit pas à une méconnaissance du système mais plutôt à un gain de temps.

*Surveillance de l'arrivée au giratoire (caméra 4) et une partie du giratoire*

Comme mentionné dans la section [2.3.2.4.3.2](#), la zone surveillée par la caméra 4 est particulièrement intéressante car elle représente une espèce d'interface entre la fin de la ligne droite précédente et le début de l'entrée dans le giratoire. Avant d'entamer le tour du giratoire, la navette doit s'arrêter à un feu et pour cela doit emprunter une partie de la zone partagée avec les autres usagers pour se retrouver à l'aplomb du feu (voir [Figure 11](#)[Figure 14](#) et [Figure 36](#)[Figure 36](#)). Ceci crée parfois des conflits avec des piétons qui sont entrain de marcher dans leur couloir à droite. Au feu rouge, il y a un passage piéton qui peut être emprunté par plusieurs types de véhicules : piétons, vélos, trottinettes, etc... La [Figure 37](#)[Figure 37](#) illustre l'affluence présentée par ledit passage piéton.



**Figure 36.** Exemple de cas où la navette emprunte la voie piétonne avant d'entrer dans le giratoire.

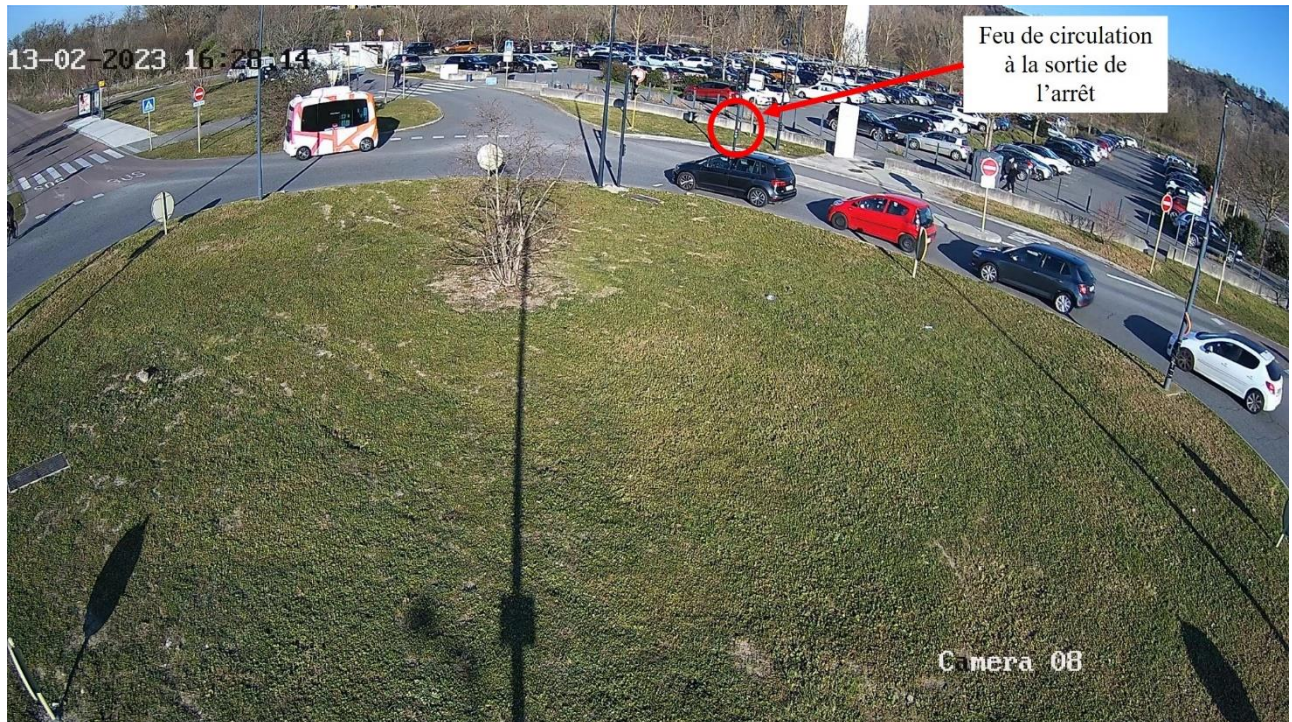


*Figure 37. Passage piéton avant le giratoire.*

Une fois que la navette a passé le feu, elle se retrouve dans un environnement autre que la sortie de l'Oncopole et la ligne droite. Elle est confrontée, et en proximité importante, à des interactions avec des usagers divers et adoptant une vitesse qui peut être élevée. A partir de la caméra 4 (entrée du giratoire) il est parfois difficile d'interpréter la scène ; c'est pourquoi nous avons décidé de rajouter une caméra supplémentaire pour avoir une vision de haut du giratoire.

#### *Surveillance du giratoire (caméra 7)*

La caméra 7 vise quasiment à la verticale ce qui permet de voir les comportements des usagers les uns envers les autres sans aucune occultation. La navette prend son départ à partir d'un feu rouge (voir [Figure 38](#)). Une fois que le feu passe au vert, elle démarre et se retrouve souvent dans des situations où les autres véhicules (véhicules légers notamment) se retrouvent derrière elle et ce jusque la ligne droite allant vers l'Oncopole. Le comportement des automobilistes peut prendre des caractéristiques différentes : la vitesse de la navette (10 km/h) surprend la plupart du temps les automobilistes qui ont tendance à freiner subitement et attendre que la navette atteigne sa ligne droite. Derrière cette attente, on observe une relative impatience. Certains véhicules automobiles ne freinent pas et doublent à grande vitesse la navette sans vraiment y prêter attention.



*Figure 38. Exemple de scénarios enregistrés par la caméra 7.*

### **6.3. Synthèse des résultats sur la variable qualitative comportementale**

Dans la limite des observations traitées on note une cohabitation rapide entre les différents usagers et la navette. Après la première surprise de découverte d'un véhicule atypique, les usagers adoptent un comportement adéquat vis à vis de la navette. Dans la majorité du temps, une interaction proche est tolérée. Ceci est favorisé par la vitesse réduite de la navette et peut-être à la présence de l'opérateur à bord de la navette. Celui-ci fournit des explications détaillées sur l'expérimentation. Cette pédagogie a dû conduire à bien utiliser l'usage de la navette.

### **6.4. Résultats sur l'évolution temporelle**

Par ailleurs, deux échantillons de données ont été plus précisément analysés afin d'étudier une éventuelle évolution des comportements dans le temps : juin 2021 et octobre 2021, les résultats sont présentés ci-dessous. Les valeurs présentées dans les tableaux ci-dessous sont à considérer avec prudence du fait des faibles effectifs réduisant ainsi leur significativité statistique. Ils permettent malgré tout d'observer des tendances. Les effectifs présentés sont rapportés au regard de l'effectif global de la période étudiée pour obtenir les pourcentages décrits.






| Interaction | Pictogramme   | Définition  |
|-------------|---|---|
| D101        |  | UVR traversant la trajectoire de la navette en intersection matérialisée                      |
| D200        |  | UVR marchant à côté du VA dans le même sens, interaction avec une forte proximité             |
| D300        |  | UVR passant à côté du VA (les deux étant très proches) dans le sens opposé, interaction forte |
| D301        |  | UVR envahissant temporairement la voie du VA et se déplaçant dans le sens opposé              |
| D400        |  | UVR empruntant la voie du VA lorsque le VA est loin (> 50 mètres)                             |

Figure 39 : Tableau des interactions étudiées pour la comparaison des données de juin et octobre 2021

| Interaction     | Cycliste |          | Piéton    |           | EDP      |          | VL       |          | Effectif  |           |
|-----------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
|                 | juin-21  | oct-21   | juin-21   | oct-21    | juin-21  | oct-21   | juin-21  | oct-21   | juin-21   | oct-21    |
| D101            | 2        | 1        |           | 6         | 1        | 1        |          | 4        | 3         | 12        |
| D200            | 2        | 2        | 15        | 22        |          |          |          |          | 17        | 24        |
| D300            |          | 2        | 30        | 31        |          |          |          |          | 30        | 33        |
| D301            |          | 1        | 3         | 3         |          |          | 1        |          | 4         | 4         |
| D400            |          | 3        |           | 18        |          | 1        | 1        | 2        | 1         | 24        |
| <b>Effectif</b> | <b>4</b> | <b>9</b> | <b>48</b> | <b>80</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>6</b> | <b>55</b> | <b>97</b> |

Figure 40 : Tableau des interactions par type et par catégorie d'utilisateur, comparatif juin/octobre 2021, effectifs

| Interaction     | Cycliste  |           |                  | Piéton     |            |                  | EDP         |             |                  | VL          |             |                  | Effectif    |             |                  |
|-----------------|-----------|-----------|------------------|------------|------------|------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|------------------|
|                 | juin-21   | oct-21    | Taux d'évolution | juin-21    | oct-21     | Taux d'évolution | juin-21     | oct-21      | Taux d'évolution | juin-21     | oct-21      | Taux d'évolution | juin-21     | oct-21      | Taux d'évolution |
| D101            | 3,6%      | 1,0%      | -72%             |            | 6,2%       |                  | 1,8%        | 1,0%        | -43%             |             | 4,1%        |                  | 5,5%        | 12%         | +127%            |
| D200            | 3,6%      | 2,1%      | -43%             | 27%        | 23%        | -17%             |             |             |                  |             |             |                  | 31%         | 25%         | -20%             |
| D300            |           | 2,1%      |                  | 55%        | 32%        | -41%             |             |             |                  |             |             |                  | 55%         | 34%         | -38%             |
| D301            |           | 1,0%      |                  | 5,5%       | 3,1%       | -43%             |             |             |                  | 1,8%        |             |                  | 7,3%        | 4,1%        | -43%             |
| D400            |           | 3,1%      |                  |            | 19%        |                  |             | 1,0%        |                  | 1,8%        | 2,1%        | +13%             | 1,8%        | 25%         | +1261%           |
| <b>Effectif</b> | <b>7%</b> | <b>9%</b> | <b>+28%</b>      | <b>87%</b> | <b>82%</b> | <b>-5%</b>       | <b>1,8%</b> | <b>2,1%</b> | <b>+13%</b>      | <b>3,6%</b> | <b>6,2%</b> | <b>+70%</b>      | <b>100%</b> | <b>100%</b> | <b>+76%</b>      |

Figure 41 : Tableau des interactions par type et par catégorie d'utilisateur, comparatif juin/octobre 2021, taux d'évolution et proportions à l'effectif global de la période

Au regard des tableaux d'évolution ci-dessus, nous constatons une diminution de la majorité des interactions. Une apparition de certaines interactions (D101, D300, D301 et D400) a été constatée lorsque celles-ci n'existaient pas sur le site durant la première période. L'effectif a joué un grand rôle dans les statistiques (augmentation de l'effectif de 76%), d'où le second tableau prenant en compte cette évolution. L'interaction D400 est celle augmentant le plus, apparaissant entre les deux périodes lorsqu'elle n'est pas présente pour une catégorie d'utilisateur. De ces résultats, nous pouvons constater une habitude prise par les usagers d'emprunter la voie de la navette pour mais en restant assez éloigné pour ne pas se gêner mutuellement.

## 7. Conclusion de l'expérimentation et perspectives

Ce rapport contient les résultats de l'expérimentation Oncopole-Toulouse dans le cadre du projet SAM. Pour le moment une navette thermique dessert le site (des parkings du fond du site jusqu'à l'entrée du bâtiment de l'Oncopole).

L'itinéraire de la navette autonome devait suivre deux itinéraires différents :

- Un premier itinéraire secondaire pour tester la navette dans une configuration plus réduite
- Puis un itinéraire plus étendu, calqué sur celui de la navette thermique pour tester la navette autonome en conditions identiques à celle de la navette thermique

Finalement, le site de l'Oncopole ne permettait pas de faire croiser la navette autonome avec d'autres véhicules (navette thermique, autobus, etc....) ce qui nous a amené à maintenir le même itinéraire. Dans cette expérimentation, il y avait plusieurs étapes que nous rappelons ici :

- Acquisition des données vidéo à partir des caméras terrain (Données de base)
- Acquisition des données navette (Dashcam) et localisation GPS
- Tri des données pour ne garder que celles qui contiennent à la fois la navette et les autres usagers
- Mesure de la proximité (distances métriques) entre les usagers et la navette
- Analyse et interprétation des interactions entre la navette et les autres usagers
- Conclusion quant à l'acceptation des usagers

## **7.1. Conclusions sur les voies dédiées**

En conclusion, l'étude d'Oncopole montrent que les VA des sites sur voie dédiée sont sensibles aux endroits de porosité avec les autres flux d'utilisateur.

La régulation des flux par l'infrastructure permet d'assurer une bonne fluidité de l'interaction du VA avec les usagers motorisés. En revanche, la navette se retrouve exposé au comportement des usagers de mobilité douce moins respectueux des règles du code de la route, dans une logique d'occupation libre de la voirie, pour laquelle le comportement très prudent de la navette n'incite pas à faire d'efforts pour lui laisser le passage.

Les usagers vulnérables, même minoritaires, sont effectivement ceux qui se mettent le plus en danger (67/255=26% piétons n'étant pas sur leur voie/en interaction potentiellement accidentogène sur la ligne droite et l'entrée d'hôpital d'Oncopole, les VL étant à 14% en interaction potentiellement accidentogène).

## **7.2. Limitations de l'expérimentation**

Dans cette expérimentation on peut regretter plusieurs choses :

- Un seul véhicule autonome a été exploité
- Le même itinéraire basique a été gardé pour l'expérimentation
- La vitesse du VA est relativement faible (moins de 10 km/h et cette vitesse a été maintenue pendant l'expérimentation) ce qui ne crée pas de réelle insécurité dans la tête des usagers

## **7.3. Perspectives**

- Enrichir le site d'essais en complétant l'architecture sensorielle (plus de caméras, un meilleur réseau, etc.)
- Mener une expérimentation avec minimum 3 véhicules avec des vitesses plus élevées (entre 15 et 20 km/h)



- Utiliser un itinéraire plus complexe où les interactions sont plus nombreuses et de natures différentes

## 8. Bibliographie

Alozi, Abdul Razak, and Mohamed Hussein. 2023. "Active Road User Interactions With Autonomous Vehicles: Proactive Safety Assessment." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, February, 036119812211510. <https://doi.org/10.1177/03611981221151032>.

Chen, Qiping, Yinfei Xie, Shifeng Guo, Jie Bai, and Qiang Shu. 2021. "Sensing System of Environmental Perception Technologies for Driverless Vehicle: A Review of State of the Art and Challenges." *Sensors and Actuators A: Physical* 319 (March): 112566. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112566>.

Chen, Yongli, Shen Li, Xiaolin Tang, Kai Yang, Dongpu Cao, and Xianke Lin. 2023. "Interaction-Aware Decision Making for Autonomous Vehicles." *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TTE.2023.3240454>.

"EasyMile EZ10." n.d. Accessed March 14, 2023. <https://easymile.com/vehicle-solutions/ez10-passenger-shuttle>.

Ezzati Amini, Roja, Christos Katrakazas, Andreas Riener, and Constantinos Antoniou. 2021. "Interaction of Automated Driving Systems with Pedestrians: Challenges, Current Solutions, and Recommendations for EHMs." *Transport Reviews* 41 (6): 788–813. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1914771>.

Hancock, P. A., Tara Kajaks, Jeff K. Caird, Mark H. Chignell, Sachi Mizobuchi, Peter C. Burns, Jing Feng, et al. 2020. "Challenges to Human Drivers in Increasingly Automated Vehicles." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 62 (2): 310–28. <https://doi.org/10.1177/0018720819900402>.

Ignatious, Henry Alexander, Hesham-El- Sayed, and Manzoor Khan. 2022. "An Overview of Sensors in Autonomous Vehicles." *Procedia Computer Science* 198: 736–41. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.315>.

Kaye, Sherrie-Anne, Xiaomeng Li, Oscar Oviedo-Trespalacios, and Amir Pooyan Afghari. 2022. "Getting in the Path of the Robot: Pedestrians Acceptance of Crossing Roads near Fully Automated Vehicles." *Travel Behaviour and Society* 26 (January): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.07.012>.

Minh Mai, Nguyen Anh, Pierre Duthon, Pascal Housam Salmane, Louahdi Khoudour, Alain Cruzil, and Sergio A. Velastin. 2022. "Camera and LiDAR Analysis for 3D Object Detection in Foggy Weather Conditions." In *2022 12th International Conference on Pattern Recognition Systems (ICPRS)*, 1–7. Saint-Etienne, France: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPRS54038.2022.9854073>.

Rasouli, Amir, and John K. Tsotsos. 2020. "Autonomous Vehicles That Interact With Pedestrians: A Survey of Theory and Practice." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 21 (3): 900–918. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2901817>.

Rivera Velázquez, Josué Manuel, Louahdi Khoudour, Guillaume Saint Pierre, Pierre Duthon, Sébastien Liandrat, Frédéric Bernardin, Sharon Fiss, Igor Ivanov, and Raz Peleg. 2022. "Analysis of Thermal Imaging Performance under Extreme Foggy Conditions: Applications to Autonomous Driving." *Journal of Imaging* 8 (11): 306. <https://doi.org/10.3390/jimaging8110306>.

Sestino, Andrea, Alessandro M. Peluso, Cesare Amatulli, and Gianluigi Guido. 2022. "Let Me Drive You! The Effect of Change Seeking and Behavioral Control in the Artificial Intelligence-Based Self-Driving Cars." *Technology in Society* 70 (August): 102017. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102017>.

Shahini, Farzaneh, and Maryam Zahabi. 2022. "Effects of Levels of Automation and Non-Driving Related Tasks on Driver Performance and Workload: A Review of Literature and Meta-Analysis." *Applied Ergonomics* 104 (October): 103824. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103824>.

Shtayat, Amir, Sara Moridpour, Berthold Best, Avinash Shroff, and Divyajeetsinh Raol. 2020. "A Review of Monitoring Systems of Pavement Condition in Paved and Unpaved Roads." *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 7 (5): 629–38. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.03.004>.

Wu, Jingwen, Hua Liao, Jin-Wei Wang, and Tianqi Chen. 2019. "The Role of Environmental Concern in the Public Acceptance of Autonomous Electric Vehicles: A Survey from China." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 60 (January): 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.029>.

Yannis, George, Dimitrios Nikolaou, Alexandra Laiou, Yvonne Achermann Stürmer, Ilona Buttler, and Dagmara Jankowska-Karpa. 2020. "Vulnerable Road Users: Cross-Cultural Perspectives on Performance and Attitudes." *IATSS Research* 44 (3): 220–29. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.08.006>.

Zhao, Tong, Ekim Yurtsever, Joel A. Paulson, and Giorgio Rizzoni. 2023. "Formal Certification Methods for Automated Vehicle Safety Assessment." *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 8 (1): 232–49. <https://doi.org/10.1109/TIV.2022.3170517>.