

## Nantes - mySMARTLife

Évaluation de l'expérimentation d'une navette autonome sur voie ouverte dans la zone industrielle de Nantes Bouguenais

Volet "Sécurité des usagers et de leurs interactions"

Rapport d'étude, Décembre 2019



Crédit photo : © Cerema Normandie Centre – DITM – GESM – 2019

# Nantes – mySMARTLife

Évaluation de l'expérimentation d'une navette autonome sur voie ouverte dans la zone industrielle de Nantes Bouguenais

Volet "Sécurité des usagers et de leurs interactions"

## Historique des versions du document

| Version | Date       | Commentaire |
|---------|------------|-------------|
| 1       | 30/10/2019 |             |
| 2       | 12/11/2019 |             |
| 3       | 21/11/2019 |             |
| 4       | 22/11/2019 |             |
| 5       | 15/01/2020 |             |

## Affaire suivie par

|   |
|---|
| <b>Peggy SUBIRATS</b><br>Département Infrastructures de Transport Multimodales – Unité Exploitation, Simulation, Métrologie du trafic<br>Tél. : 02 35 68 81 79<br>Courriel : <a href="mailto:peggy.subirats@cerema.fr">peggy.subirats@cerema.fr</a><br><b>Site de Grand-Quevilly</b> : Cerema Normandie-Centre<br>10 chemin de la Poudrière, CS 90245 - F-76121 Le Grand-Quevilly Cedex |
|---|

## Références

n° d'affaire : **C19010057**  
Partenaire : XX (M. XXXXXXXX)  
Devis n° xx/xxx du jj/mm/aaaa

| Rapport                  | Nom                                 | Date       | Visa |
|--------------------------|-------------------------------------|------------|------|
| Établi par               | Nicolas de RUS                      | 30/10/2019 |      |
| Co-auteurs               | Florence ROSEY<br>Peggy SUBIRATS    |            |      |
| Avec la participation de | Azzédine CHABANI<br>Béatrice GROULT |            |      |
| Contrôlé par             | Peggy SUBIRATS                      |            |      |
| Validé par               |                                     |            |      |

# Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Table des figures .....  | 4  |
| Résumé .....   | 5  |
| 1. Description de l'étude .....                                  | 6  |
| 1.1. Périmètre de l'étude .....                                  | 6  |
| 1.2. Méthode de recueil .....                                    | 7  |
| 2. Objectivation des comportements observés .....                | 8  |
| 2.1. Observations vidéos .....                                   | 8  |
| 2.2. Description du panel d'enregistrement vidéos .....          | 9  |
| 2.2.1. Fréquence des interactions .....                          | 9  |
| 2.2.2. Fréquence horaire des interactions .....                  | 10 |
| 2.2.3. Répartition des interactions par usager .....             | 11 |
| 2.2.4. Répartition des interactions par objet routier .....      | 12 |
| 2.2.5. Distribution des interactions par situation.....          | 13 |
| 2.3. Scénarios récurrents.....                                   | 16 |
| 2.3.1. Accumulations derrière le VA.....                         | 17 |
| 2.3.2. Dépassements du VA.....                                   | 17 |
| 2.3.3. Ralentissements et arrêts brusques du VA .....            | 18 |
| 3. Subjectivation des comportements observés .....               | 20 |
| 3.1. Questionnaire sur la perception de la navette autonome..... | 20 |
| 3.1.1. Introduction.....   | 20 |
| 3.1.2. Méthode.....  | 20 |
| 3.1.3. Description du panel enquêté .....                        | 22 |
| 3.2. Interactions avec la navette autonome .....                 | 24 |
| 3.2.1. Premier contact avec la navette autonome .....            | 24 |
| 3.2.2. Comportements à la rencontre de la navette autonome ..... | 26 |
| 3.2.3. Sentiment de sécurité face à la navette autonome .....    | 27 |
| 3.3. Opinions sur la navette autonome.....                       | 29 |
| 3.3.1. Déploiement de la navette autonome .....                  | 29 |
| 3.3.2. Identification de la navette autonome.....                | 29 |
| 3.3.3. Impact de la navette autonome .....                       | 29 |
| 3.3.4. Motivations à utiliser la navette autonome .....          | 30 |
| 3.4. Questions ouvertes de l'enquête .....                       | 32 |
| 3.4.1. La méfiance des piétons .....                             | 32 |
| 3.4.2. L'agacement des conducteurs.....                          | 33 |
| Conclusion .....   | 34 |
| Synthèse .....   | 36 |
| Glossaire .....  | 37 |

# Table des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Zone aéroportuaire de Bouguenais, vue aérienne .....                                    | 6  |
| Figure 2 : Plan d'installation des Caméras en bord de voie .....                                   | 7  |
| Figure 3 : Histogrammes de la répartition horaires des interactions par caméra .....               | 10 |
| Figure 4 : Histogrammes de la répartition par caméra des interactions par tranche horaire .....    | 11 |
| Figure 5 : Histogrammes de la répartition des interactions par catégorie d'antagonistes .....      | 12 |
| Figure 6 : Diagramme de la répartition des interactions par objet routier .....                    | 13 |
| Figure 7 : Répartition des interactions par situation et par objet routier .....                   | 15 |
| Figure 8 : Distribution de la situation des interactions par objet routier .....                   | 15 |
| Figure 9 : Genre des répondants .....  | 22 |
| Figure 10 : Répartitions des âges des répondants .....   | 22 |
| Figure 11 : Répartition des types de permis de conduire des répondants .....                       | 23 |
| Figure 12 : Répartition des temps de possession du permis .....                                    | 23 |
| Figure 13 : Répartition des types d'interactions entre les répondants et la navette autonome ..... | 24 |
| Figure 14 : Nombre de fois où les répondants ont aperçu la navette autonome .....                  | 25 |
| Figure 15 : Répartition du nombre de fois où mes répondants ont aperçu la navette autonome .....   | 25 |
| Figure 16 : Proportions des utilisateurs de nouvelles technologies parmi les répondants .....      | 30 |
| Figure 17 : Proportions des répondants équipés d'outils d'aide à la conduite .....                 | 30 |
|  |    |
| Tableau 1 : Répartition des interactions relevées par point d'observation .....                    | 9  |
| Tableau 2 : Répartition des interactions par tranche horaire et par caméra .....                   | 10 |
| Tableau 3 : Répartition des interactions pas catégorie d'antagoniste .....                         | 11 |
| Tableau 4 : Répartition des interactions par objet routier .....                                   | 12 |
| Tableau 5 : Répartition des situations d'interactions par objet routier .....                      | 14 |
| Tableau 6 : Compilation des interactions secondaires pour chaque interaction première .....        | 16 |
| Tableau 7 : Compilation des interactions secondaires pour les accumulations derrière le VA .....   | 17 |
| Tableau 8 : Compilation des interactions secondaires pour les dépassements du VA .....             | 17 |
| Tableau 9 : Compilation des interactions secondaires pour les ralentissements du VA .....          | 18 |
| Tableau 10 : Compilation des interactions secondaires pour les arrêts brusques du VA .....         | 19 |
| Tableau 11 : Répartition des permis de conduire parmi les répondants .....                         | 23 |
| Tableau 12 : Répartition des interactions avec des piétons par objet routier .....                 | 32 |
| Tableau 13 : Total des situations émanant de l'agacement des usagers .....                         | 33 |
|  |    |
| Complément à l'annexe : Enquête – Navette Autonome .....   | 38 |

## Résumé

Cette étude se propose d'observer et de recenser les interactions entre la navette autonome en circulation sur le site aéroportuaire de Bouguenais, et les autres usagers de la zone, qu'ils soient véhiculés ou non. Pour cela, 4 caméras ont été installées sur le site, afin d'effectuer des enregistrements vidéos entre les mois de mars et de mai 2019, pour un total de 720 heures enregistrées. Une enquête par questionnaire a également été réalisée sur une journée pendant cette même période. Après un visionnage préliminaire des vidéos, des scénarios récurrents ont été pressentis, et nous avons mis en place des hypothèses quant aux comportements les plus récurrents qu'il était possible d'observer lors de la circulation de la navette autonome. Puis l'intégralité des enregistrements vidéos a été dépouillée manuellement.

Les scénarios types observés par vidéo qui ont fait l'objet d'hypothèses comportementales des usagers et de la navette autonome, ont été vérifiés par le biais de notre observatoire et par les réponses au questionnaire. Les hypothèses suivantes ont donc été analysées :

- la navette autonome crée une accumulation de véhicules derrière elle ;
- les véhicules derrière la navette autonome adaptent leur vitesse à elle ;
- la navette autonome se fait dépasser ;
- la navette autonome freine brusquement suite à un dépassement ;
- la navette autonome freine ou ralentit brusquement, les véhicules derrière doivent s'adapter ;
- les piétons ont tendance à éviter d'entrer en interaction avec la navette autonome.

L'analyse des vidéos a permis de constater que l'environnement avait une influence sur les situations. En fonction de l'objet routier dans lequel se passe l'interaction, un scénario était plus fréquent qu'un autre. Par exemple, les dépassements s'observaient beaucoup plus dans les lignes droites qu'ailleurs, et les accumulations beaucoup plus à l'approche du carrefour à feu ou du giratoire.

Il a également été constaté que la grande majorité des interactions qui avaient lieu entre la navette autonome et les autres usagers de la voirie, concernaient plutôt des véhicules légers (VL), et dans une bien moindre mesure, des poids lourds (PL). Très peu d'interactions avec des deux-roues motorisés (2RM), des vélos ou encore des piétons ont été observées. Il semble aux vues des réponses au questionnaire, que les usagers vulnérables ont tendance à éviter d'entrer en interaction avec la navette autonome, tant par une impression d'imprévisibilité de celle-ci, que pour éviter des situations gênantes et d'incompréhensions.

La navette autonome est source de ralentissements de la circulation. Elle semble empêcher la fluidité du trafic. Lorsque celle-ci arrive à l'entrée d'un giratoire, ou d'un carrefour à feu, elle est dans la plus grande majorité des cas la première de la file, avec un, plusieurs, voire de nombreux véhicules s'étant accumulés derrière. L'infrastructure ne permet pas toujours aux usagers de dépasser la navette, ils sont donc « contraints » à rester derrière. Mais lorsque l'infrastructure le permet (et des fois même lorsqu'elle ne le permet pas), les usagers ne manquent pas de doubler la navette. On dénote grâce aux réponses ouvertes au questionnaire, un certain agacement des usagers véhiculés vis-à-vis de la navette autonome.

Enfin, il semblerait que les interactions entre la navette autonome et d'autres usagers soient beaucoup plus nombreuses dans la zone du giratoire et de la rue Mouchotte, que dans le carrefour à feu et la rue de l'Halbrane. Cela s'explique par la présence du restaurant inter-entreprises aux abords de la rue Mouchotte, et du fait que cet axe ait l'air de présenter un plus gros débit de circulation que la rue de l'Halbrane.

# 1. Description de l'étude

## 1.1. Périmètre de l'étude

L'expérimentation de circulation de navette autonome dans le cadre du projet européen « mySMARTLife » à Nantes se déroule dans la zone aéroportuaire de Bouguenais, au Sud-Ouest de l'agglomération Nantaise. Cette zone voit évoluer quotidiennement des activités industrielles et de transports. Une plateforme de recherche technologique « Technocampus Ocean » est présente dans le secteur. De nombreuses personnes travaillent dans la zone, et celle-ci dispose d'un restaurant inter-entreprise (**Figure 1**).

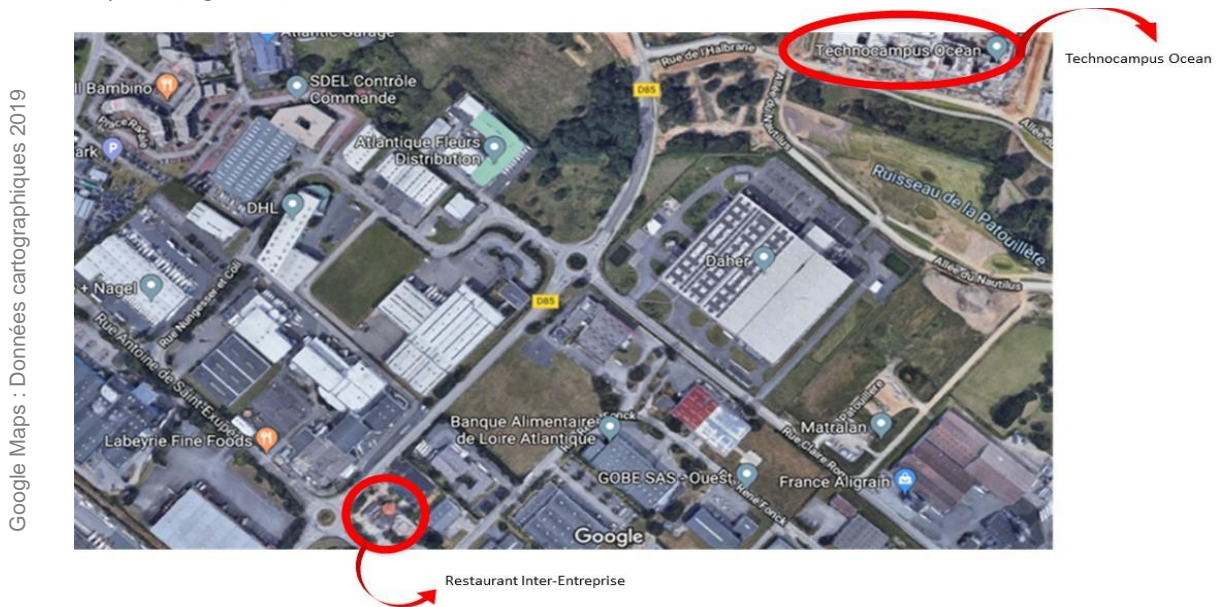


Figure 1 : Zone aéroportuaire de Bouguenais, vue aérienne

Nantes Métropole a sollicité en novembre 2018, l'appui du Cerema dans le cadre de l'expérimentation d'une navette autonome couplée à l'expérimentation d'une portion de route photovoltaïque sur le site aéroportuaire de Bouguenais, à proximité de l'aéroport de Nantes Atlantique. L'expérimentation a porté sur un itinéraire d'une longueur de 2,5 km, sur des voiries ouvertes à la circulation. La vitesse limite autorisée le long de l'itinéraire est de 30 km/h. La navette, modèle AUTONOM SHUTTLE de NAVYA, entièrement électrique, peut transporter jusqu'à 11 passagers assis à bord. Elle circule à une vitesse maximale de 18 km/h. Elle a desservi 3 arrêts fixes. Le cas d'usage qui a été retenu est la desserte d'un Restaurant Inter-Entreprises (RIE), depuis le Technocampus Océan. L'expérimentation s'est déroulée du lundi au vendredi, de 11h30 à 14h30, entre le mois de mars et le mois de mai 2019.

La question de l'introduction de cette navette autonome dans un trafic ouvert au public s'est posée, et le Cerema s'est proposé dans cette étude d'évaluer les aspects de sécurité routière lors de la circulation de la navette. L'étude a été portée sur l'environnement extérieur, proche et distant, de la navette autonome, à savoir toutes les interactions entre la navette autonome, les autres usagers de la route, et l'infrastructure routière.

L'objectif a été d'analyser les comportements des autres usagers de la voirie à la rencontre de la navette autonome, d'observer les réactions de la navette dans diverses situations d'interactions avec ces autres usagers. Ceci a été rendu possible grâce à des enregistrements vidéos faits par caméras disposées en bord de voie dans la zone. Le Cerema s'est également proposé de porter son attention sur le ressenti des usagers de la zone, par le biais d'une enquête.

## 1.2. Méthode de recueil

Le site aéroportuaire de Bouguenais a été équipé de caméras, à savoir quatre points d'observations, sur deux zones de recueil (**Figure 2**), afin de recueillir des données vidéos d'emplacements stratégiques à fort potentiel d'interactions entre la navette autonome et les autres usagers de la voirie. Les caméras ont été positionnées de sorte qu'un maximum de situations différentes, dans des objets routiers distincts, et dans des contextes variés, soient constatés.

Nous avons observé les objets routiers suivants : un carrefour à feu, un giratoire, une Ligne droite équipée d'une ligne continue, et une ligne droite équipée d'une ligne discontinue. Dans plusieurs environnements différents, comme une zone très circulée, une autre moins, l'abord d'un restaurant d'entreprise avec la présence de beaucoup de piétons, et d'une activité de transports avec la présence de nombreux poids lourds. La zone a été équipée de quatre caméras placées en bord de voie pour observer les objets routiers suivants (**Figure 2**) :

- Première caméra (C1) : le carrefour giratoire, entre la D85 et la rue Antoine de Saint-Exupéry, noté dans la suite de ce document « **C1 – Giratoire** ».
- Deuxième caméra (C2) : la rue René Mouchotte, ligne droite équipée d'une ligne blanche continue, noté dans la suite de ce document « **C2 – Rue Mouchotte** ».
- Troisième caméra (C3) : le carrefour en « T » entre la D85 et la rue de l'Halbrane, régulé par un feu tricolore, noté dans la suite de ce document « **C3 – Carrefour à Feu** ».
- Quatrième caméra (C4) : la rue de l'Halbrane, ligne droite équipée d'une ligne blanche discontinue, en amont de la portion de route photovoltaïque (plus précisément cette route photovoltaïque était placée sur l'allée du Rayon Vert, à côté du Technocampus), noté dans la suite de ce document « **C4 – Rue d'Halbrane** ».

La mise en place des points d'observations bord de voie a été réalisée dans le respect de la RGPD, notamment avec le positionnement d'un affichage. Les caméras ont été installées par l'équipe du Cerema Ouest, en collaboration avec le Cerema Normandie-Centre, après avoir obtenu les autorisations nécessaires auprès des autorités locales.



Figure 2 : Plan d'installation des Caméras en bord de voie  
Nantes – mySMARTLife

## 2. Objectivation des comportements observés

### 2.1. Observations vidéos

Dans un temps préliminaire, des situations typiques et récurrentes d'interactions entre la navette autonome et d'autres usagers de la zone ont été constatées par simples observations sur site. Nous avons choisi de poser l'hypothèse que certains scénarios avaient des fréquences d'apparition élevées. Les scénarios que nous avons distingués dans nos observations préliminaires sont les suivants :

- La navette autonome crée une accumulation de véhicules derrière elle.
  - Nous avons fixé le terme « accumulation » à partir de deux véhicules ou plus.
  - Nous avons fixé l'hypothèse que la faible vitesse de la navette autonome engendre un ralentissement global du trafic, et que la situation où plusieurs véhicules se retrouvent bloqués à la même vitesse sans dépasser, s'observe fréquemment.
- Les véhicules derrière la navette autonome adaptent leur vitesse à celle de la navette.
  - Nous avons fixé l'hypothèse que les autres véhicules sont « contraints » d'adapter leur vitesse à celle de la navette autonome lorsqu'ils arrivent derrière elle. C'est-à-dire qu'ils sont forcés de ralentir pour ne pas entrer en collision avec la navette ou les autres véhicules qui la suivent.
- La navette autonome se fait dépasser.
  - Nous avons fixé l'hypothèse que les situations où la navette autonome se fait dépasser par d'autres véhicules, lorsque la signalisation et l'infrastructure le permet, ou non, sont nombreuses.
- La navette autonome freine brusquement suite à un dépassement.
  - Nous avons fixé l'hypothèse que les situations où la navette autonome est amenée à freiner brusquement après avoir été dépassée par un autre usager sont nombreuses.
  - Nous avons fixé la seconde hypothèse qu'il s'agit du fait que les véhicules se rabattent trop près de la navette autonome qui engendre ses freinages brusques.
- La navette autonome freine ou ralentit brusquement, les véhicules derrière doivent s'adapter.
  - Nous avons fixé l'hypothèse que les situations où un freinage ou un ralentissement soudain de la navette autonome obligeant les autres usagers à adapter en urgence leurs comportements sont fréquentes.

Chaque apparition de la navette autonome a été référencée, et les interactions entre celle-ci et les autres usagers de la voirie ont été renseignées dans une grille de recueil de données, suivant plusieurs critères descriptifs, afin de concevoir des données descriptives et d'avoir une meilleure visibilité sur les scénarios les plus récurrents mettant en scène la navette autonome avec d'autres usagers de la zone de Bouguenais. Les critères d'annotation des vidéos ont été définis selon nos hypothèses précédemment expliquées.



## 2.2. Description du panel d'enregistrement vidéos

L'observation vidéo a été mise en œuvre du 25 mars au 2 mai, les jours ouvrés. Ce qui correspond à 30 jours ouvrés de prise vidéo, sur une plage horaire quotidienne de 9 heure à 15 heure, sur 4 caméras en simultanée. En somme, 180 heures de prise vidéo ont été opérées sur 4 caméras, ce qui représente au total 720 heures enregistrées. En revanche, la navette autonome n'a circulé que 23 jours sur les 30 enregistrés, et n'effectue son premier passage qu'aux environs de 10 heures.

La navette a effectué environ 230 boucles sur 23 jours, ce qui fait en moyenne 10 boucles par jour.

### 2.2.1. Fréquence des interactions

L'intégralité de ces vidéos a été consultée pour répertorier des interactions entre la navette autonome et les autres usagers de la voirie. Un total de 1297 interactions a été répertorié sur l'ensemble des prises vidéos des 4 caméras. La navette autonome est impliquée dans une moyenne de 56,39 interactions par jour et de 5,64 interactions par boucle effectuée. En d'autres termes, la navette autonome est prise en moyenne dans une interaction tous les 0,18 tour.

Nombre moyen des interactions par jour et par boucle :

$$Nb \text{ Moy Interactions } / \text{ Jour} = \frac{Nb \text{ Total Interactions relevé}}{Nb \text{ Jours Vidéos}} \approx \frac{1297}{23} \approx 56,39 \text{ Inter}' / \text{ Jour}$$

$$Nb \text{ Moy Interactions } / \text{ Boucle} = \frac{Nb \text{ Total Interactions relevé}}{Nb \text{ Total Boucles}} \approx \frac{1297}{230} \approx 5,64 \text{ Inter}' / \text{ Boucle}$$

La répartition des interactions relevées par point d'observation est présentée dans le **Tableau 1**.

| <b>Tableau 1 : Répartition des interactions relevées par point d'observation</b> |                       |                           |                             |
|--|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| <b>Interaction</b>   | <b>Nb Interaction</b> | <b>Interaction / Jour</b> | <b>Interaction / Boucle</b> |
| Nombre Total d'interactions relevé : 1297  |                       |                           |                             |
| C1 - Giratoire   | 672 Interactions      | 29,22 Inter' / Jour       | 2,92 Inter' / Boucle        |
| C2 - Rue Mouchotte   | 339 Interactions      | 14,74 Inter' / Jour       | 1,47 Inter' / Boucle        |
| C3 - Carrefour à Feu   | 132 Interactions      | 5,74 Inter' / Jour        | 0,57 Inter' / Boucle        |
| C4 - Rue d'Halbrane  | 154 Interactions      | 6,70 Inter' / Jour        | 0,70 Inter' / Boucle        |

Il est nécessaire de garder à l'esprit aux vues de ces données descriptives que les caméras 3 et 4 du carrefour à feu et de la rue d'Halbrane ont une vue de la navette autonome faisant un aller-retour dans un sens et dans l'autre. La navette autonome est donc impliquée dans beaucoup moins d'interactions dans les zones du carrefour à feu et de la rue d'Halbrane, que pour celles du giratoire et de la rue Mouchotte, malgré le fait qu'elle y effectue 2 passages pour une même boucle.

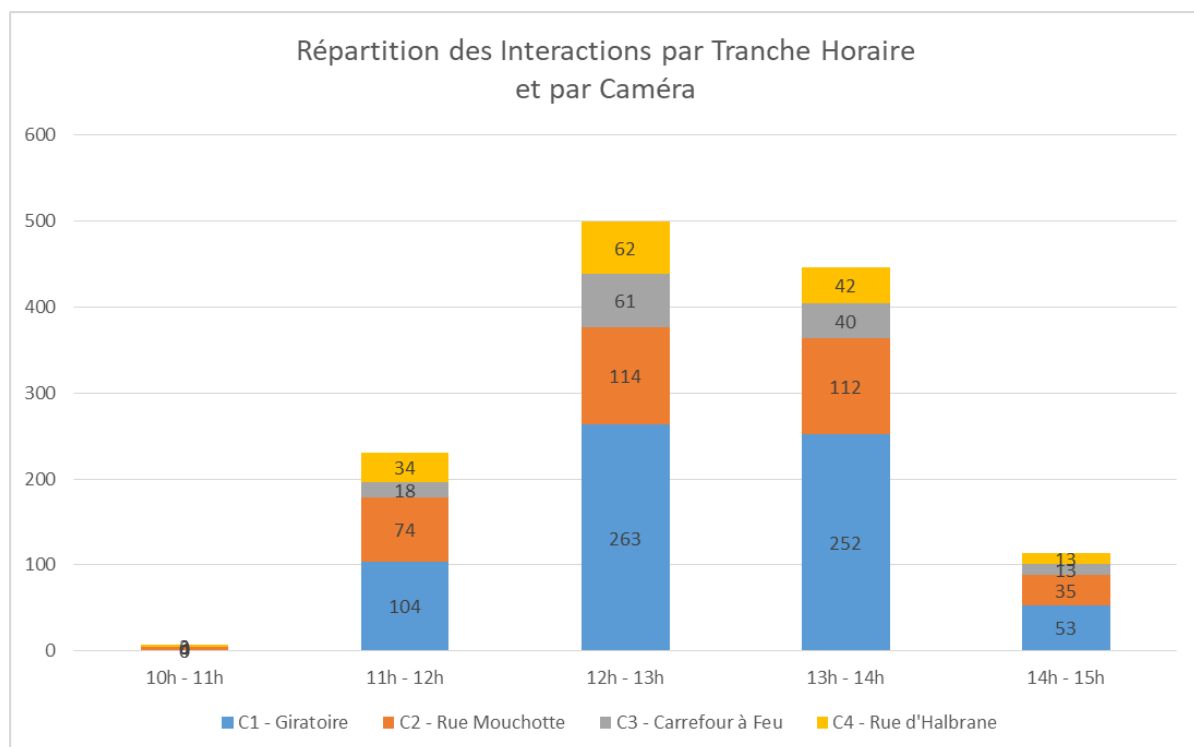
## 2.2.2. Fréquence horaire des interactions

La répartition des interactions entre la navette autonome et les autres usagers, par caméra et par heure est détaillé dans le **Tableau 2**.

| Interactions         | 10h - 11h | 11h - 12h  | 12h - 13h  | 13h - 14h  | 14h - 15h  | Total / Cam |
|----------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| C1 - Giratoire       | 0         | 104        | 263        | 252        | 53         | <b>672</b>  |
| C2 - Rue Mouchotte   | 4         | 74         | 114        | 112        | 35         | <b>339</b>  |
| C3 - Carrefour à Feu | 0         | 18         | 61         | 40         | 13         | <b>132</b>  |
| C4 - Rue d'Halbrane  | 3         | 34         | 62         | 42         | 13         | <b>154</b>  |
| <b>Total / Heure</b> | <b>7</b>  | <b>230</b> | <b>500</b> | <b>446</b> | <b>114</b> | <b>1297</b> |

Cerema Normandie Centre  
DITM – GESM – 2019

Nous avons observé une distribution gaussienne de la fréquence des interactions entre la navette autonome et les autres usagers de la voirie en fonction de l'heure, avec un sommet aux alentours de midi (**Figure 3**). Cela correspond à la période de pointe de l'heure du déjeuner, où les personnes qui travaillent dans la zone empruntent leur véhicule. On relève plus d'observations venant des caméras 1 et 2, correspondant au giratoire et à la rue Mouchotte. Nous avons pu remarquer lors de la phase préliminaire que cette zone de recueil voit une circulation plus soutenue que celle des caméras 3 et 4, du fait des grands axes, des entreprises, et de la cafétéria dans les environs. Compte tenu de l'ampleur de la circulation en période de pointe, surtout dans cette zone très fréquentées, la navette autonome doit faire face à un plus grand potentiel d'interactions avec les autres usagers de la voirie aux environs de midi, qu'à 10 heures ou à 14 heures.



Cerema Normandie Centre  
DITM – GESM – 2019

Figure 3 : Histogrammes de la répartition horaires des interactions par caméra

Il faut aussi considérer cette donnée avec la fréquence de passage de la navette autonome. En effet, la navette autonome effectue dans la majorité des cas (sauf exceptions), un passage sur le créneau de 10 – 11h, quatre sur le créneau 11 – 12h, quatre sur le créneau 12 – 13h, deux sur le créneau 13 – 14h, et un sur le créneau 14 – 15h. On observe que la distribution horaire est sensiblement la même selon le point d'observation (**Figure 4**).

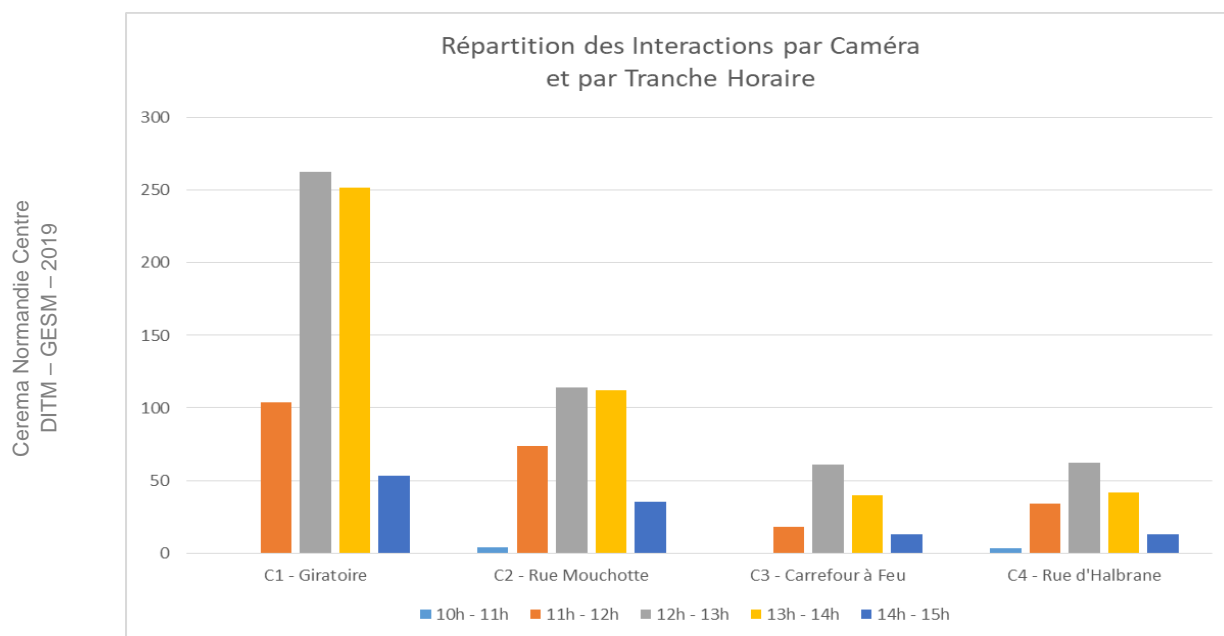


Figure 4 : Histogrammes de la répartition par caméra des interactions par tranche horaire

### 2.2.3. Répartition des interactions par usager

La navette autonome rencontre plusieurs catégories d'usagers. Elle rencontre des véhicules légers (VL), des deux-roues motorisés (2RM), des vélos, des piétons, des poids lourds (PL), et parfois même, se retrouve dans des situations notables sans qu'elle soit directement entrée en interaction avec un autre usager. Les 73 situations où seule la navette était concernée couvrent les cas où celle-ci freinait par à-coups ou s'arrêtait sans raisons apparentes. A noter également que les interactions entre la navette autonome et des bus ont été considérées comme des interactions avec des PL. Nous pouvons observer la répartition des interactions entre la navette autonome et les autres usagers de la voirie en fonction du type d'usager rencontré dans le **Tableau 3**.

| Interactions               | VA seul   | VA - VL     | VA - Vélo | VA - Piéton | VA - PL    | VA - 2RM  | Total / Cam                |
|----------------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|-----------|----------------------------|
| C1 - Giratoire             | 24        | 556         | 0         | 33          | 75         | 8         | 696                        |
| C2 - Rue Mouchotte         | 17        | 306         | 1         | 1           | 24         | 7         | 356                        |
| C3 - Carrefour à Feu       | 5         | 123         | 1         | 5           | 4          | 0         | 138                        |
| C4 - Rue d'Halbrane        | 27        | 139         | 2         | 0           | 11         | 1         | 180                        |
| <b>Total / Type Usager</b> | <b>73</b> | <b>1124</b> | <b>4</b>  | <b>39</b>   | <b>114</b> | <b>16</b> | <b>1370</b><br>(1297 + 73) |

Nous avons observé principalement des interactions impliquant des VL en tant qu'antagoniste. Dans une moindre mesure, nous observons aussi des interactions avec des PL (**Figure 5**). En soit, il est normal que les interactions impliquant des VL soient plus souvent observées, du fait de leur domination sur le parc de véhicules dans le monde. Néanmoins, une telle part d'interactions avec des PL est intéressante, et s'explique sûrement du fait que l'expérimentation ait lieu dans une zone industrielle où un grand nombre d'activités de fret s'opère. Une si faible part des modes actifs (piétons et vélos) et 2RM, est à noter (**Figure 5**). Nous nous sommes demandé pourquoi nous avons observé un nombre si faible d'interactions entre les usagers « vulnérables » et la navette autonome.

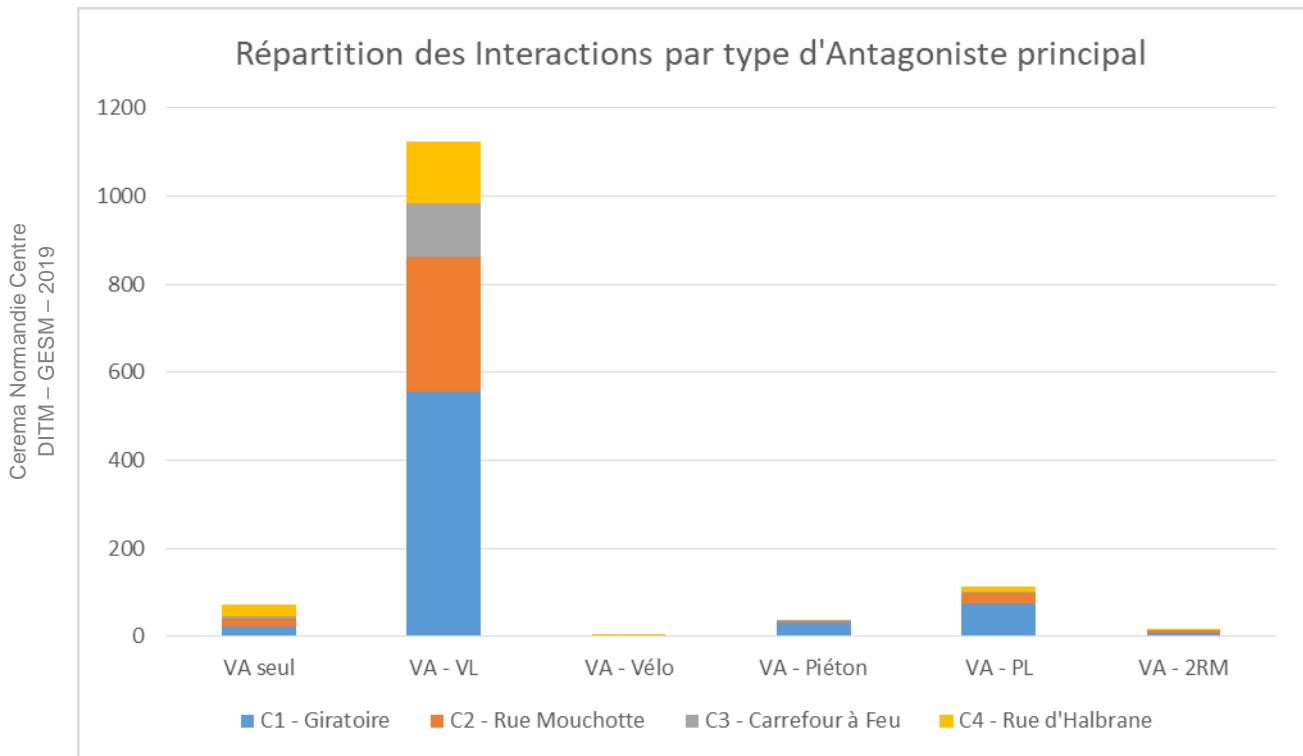


Figure 5 : Histogrammes de la répartition des interactions par catégorie d'antagonistes

## 2.2.4. Répartition des interactions par objet routier

Lors des observations préliminaires nous avons noté que la navette autonome était impliquée dans plus d'interactions, à certains endroits que d'autres. Nous avons renseigné les occurrences d'interactions pour chaque objet routier. Le **Tableau 4** présente la répartition des interactions par objet routier.

| Objet Routier | Ligne droite |                 | Giratoire    |            |              | Carrefour à Feu  |                  | Total |
|---------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|------------------|------------------|-------|
|               | Ligne - Cont | Ligne - Discont | Gir - Entrée | Gir - Dans | Gir - Sortie | Carr à Feu - TàD | Carr à Feu - TàG |       |
| Total         | 351          | 159             | 221          | 4          | 437          | 99               | 26               | 1297  |
| % du total    | 27,06%       | 12,26%          | 17,04%       | 0,31%      | 33,69%       | 7,63%            | 2,00%            | 100%  |

Il est à noter qu'à 15 mètres de la sortie du giratoire, un point de pose et dépose des voyageurs de la navette autonome était présent. La navette autonome s'arrêtait systématiquement à cet endroit, provoquant un très grand nombre d'interactions avec les autres usagers qui empruntaient la même sortie du giratoire.

Les endroits où le plus grand nombre d'interactions ont eu lieu, sont la ligne droite, notamment celle de la rue Mouchotte, le giratoire à sa sortie, et à moindre mesure à son entrée, et enfin le carrefour à feu (**Figure 6**). Le carrefour à feu présente moins d'interactions par rapport au total, pour la raison de circulations plus soutenues dans la zone des caméras 1 et 2 que dans celle des caméras 3 et 4 comme expliqué plus haut.

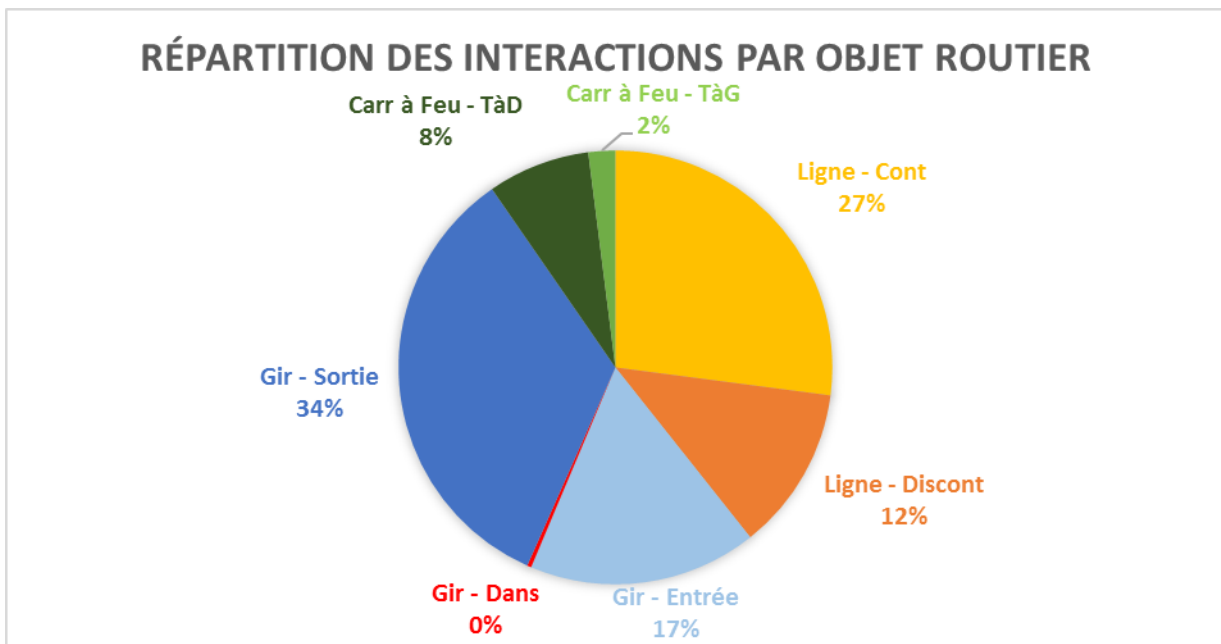


Figure 6 : Diagramme de la répartition des interactions par objet routier

### 2.2.5. Distribution des interactions par situation

La navette autonome adopte des comportements différents en fonction de la situation qu'elle rencontre. Elle peut par exemple ralentir, freiner brusquement ou bien rouler normalement à vitesse constante. Ces comportements provoquent, ou sont provoqués par des situations comme l'accumulation d'usagers derrière elle, le fait qu'un usager lui coupe la route, et/ou la dépasse. Comme vu dans la partie « Répartition des interactions par objet routier », il est intéressant de noter que les réactions de la navette autonome et les situations qui en découlent et/ou qui les ont causés, en plus d'être fonction du contact avec un usager, peuvent également être fonction de l'objet routier dans lequel l'interaction a eu lieu.

| Interactions               | Accumulation derrière le VA | Dépassement du VA | Ralentissement du VA | Arrêt brusque du VA | Le VA coupe la route à un usager | Autre     | Total par objet routier |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|-----------|-------------------------|
| Rond Point - Entrée        | 124                         | 4                 | 25                   | 57                  | 4                                | 7         | 221                     |
| Rond Point - Dans          | 0                           | 0                 | 2                    | 0                   | 2                                | 0         | 4                       |
| Rond Point - Sortie        | 25                          | 393               | 7                    | 4                   | 0                                | 8         | 437                     |
| Carrefour à Feu - TàD      | 78                          | 5                 | 5                    | 7                   | 2                                | 2         | 99                      |
| Carrefour à Feu - TàG      | 12                          | 0                 | 12                   | 1                   | 0                                | 1         | 26                      |
| Ligne Droite - Cont        | 185                         | 132               | 6                    | 23                  | 0                                | 5         | 351                     |
| Ligne Droite - Discont     | 90                          | 47                | 15                   | 2                   | 0                                | 3         | 159                     |
| <b>Total par situation</b> | <b>514</b>                  | <b>581</b>        | <b>72</b>            | <b>94</b>           | <b>8</b>                         | <b>26</b> | <b>1297</b>             |

Les situations les plus généralement observées dans le **Tableau 5**, sont le dépassement de la navette autonome, pour **45%** des interactions observées, et l'accumulation d'usagers derrière la navette autonome pour **40%** des interactions observées. Les autres situations ont été observées dans une moindre mesure, comme les ralentissements et les arrêts brusques de la navette autonome en situation initiale représentant à eux deux **13%** des interactions observées.

La situation de dépassement en sortie du giratoire, représente à lui seul **30%** des cas observés, ce qui en fait le scénario le plus souvent relevé. Rappelons qu'en sortie du giratoire est positionné un arrêt de pose et dépose des voyageurs, où la navette autonome marque un arrêt systématique, faisant que les véhicules qui suivent dépassent dans la plupart des cas, en empiétant sur la voie d'en face de la bidirectionnelle malgré la ligne continue.

En ce qui concerne les situations survenues malgré la présence d'une ligne continue, nous avons observé que sur 351 interactions relevées, à savoir **27%** du total des interactions, il y a **53%** des cas où la navette engendre une accumulation de véhicules derrière elle, et ainsi un ralentissement global du trafic, et **38%** des cas où des usagers décident de franchir la ligne continue pour dépasser la navette autonome. Ces cas représentent respectivement **14%** et **10%** du total des interactions relevées.

Les situations où nous avons observé une accumulation de véhicules derrière la navette autonome à l'approche d'objets routiers de type carrefour et/ou giratoire, sont nombreuses, et représentent **42%** des situations d'accumulations pour **16%** des interactions totales. En effet, le visionnage des enregistrements nous a permis d'observer que compte tenu de sa faible vitesse, la navette autonome était toujours en tête de file lorsqu'elle arrivait à l'entrée d'un objet routier tel que le giratoire ou le carrefour à feu, avec de nombreux véhicules qui suivent derrière sans avoir la possibilité de dépasser.

D'autre part, les ralentissements, et les arrêts brusques de la navette autonome à l'entrée du giratoire, représentent **37%** des situations observées à l'entrée du giratoire, pour **6%** des interactions totales relevées. Lors du visionnage des vidéos, nous avons effectivement pu noter que la navette autonome avait du mal à s'insérer dans le Giratoire et que les situations de freinage brusque avant de s'y insérer étaient fréquentes, en plus des freinages brusques devant le passage piéton. Cette difficulté de s'insérer s'explique parfois à cause d'un débit trop important à l'intérieur de l'anneau, et parfois parce que les véhicules circulant dans l'anneau allaient trop vite et que la navette était trop lente pour s'y insérer.

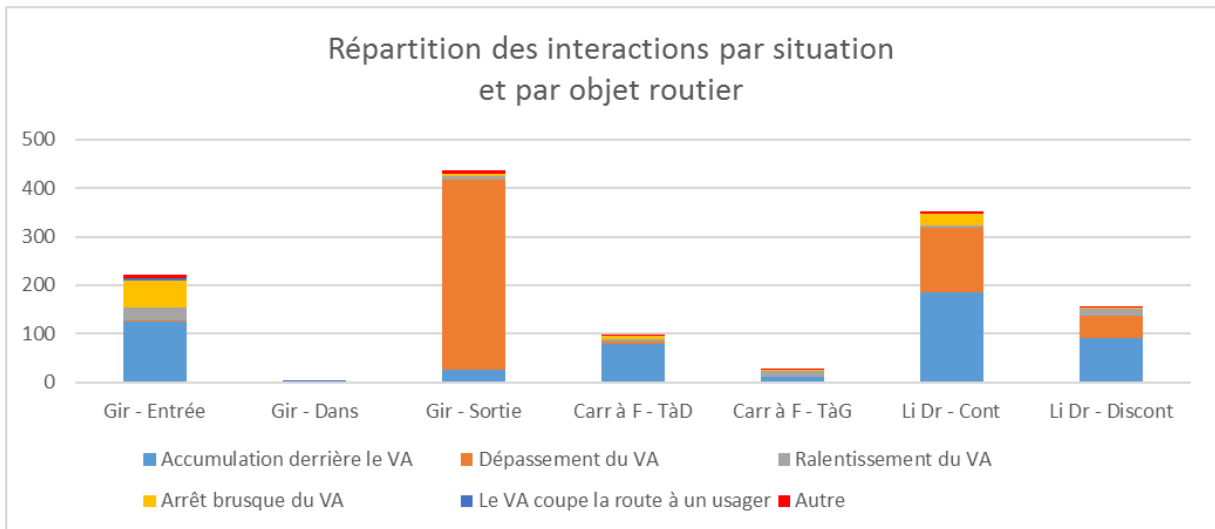


Figure 7 : Répartition des interactions par situation et par objet routier

Nous avons observé que le type d’interaction le plus régulièrement noté, est le dépassement de la navette autonome, à la sortie du giratoire (présence d’un arrêt de pose et dépose voyageurs). La navette est également souvent dépassée lorsqu’elle est sur une ligne droite. De plus, la navette autonome provoque aussi dans une grande partie des cas, une accumulation de véhicules derrière elle, à savoir **40%** des interactions totales, et par extension un ralentissement global de la circulation. Et ce notamment lorsque celle-ci doit manœuvrer à l’approche du carrefour à feu et du giratoire, ou tout simplement en ligne droite, compte tenu de sa faible vitesse d’avancée par rapport aux autres usagers. Les autres situations sont beaucoup moins fréquentes que ces deux premières citées (**Figure 7**).

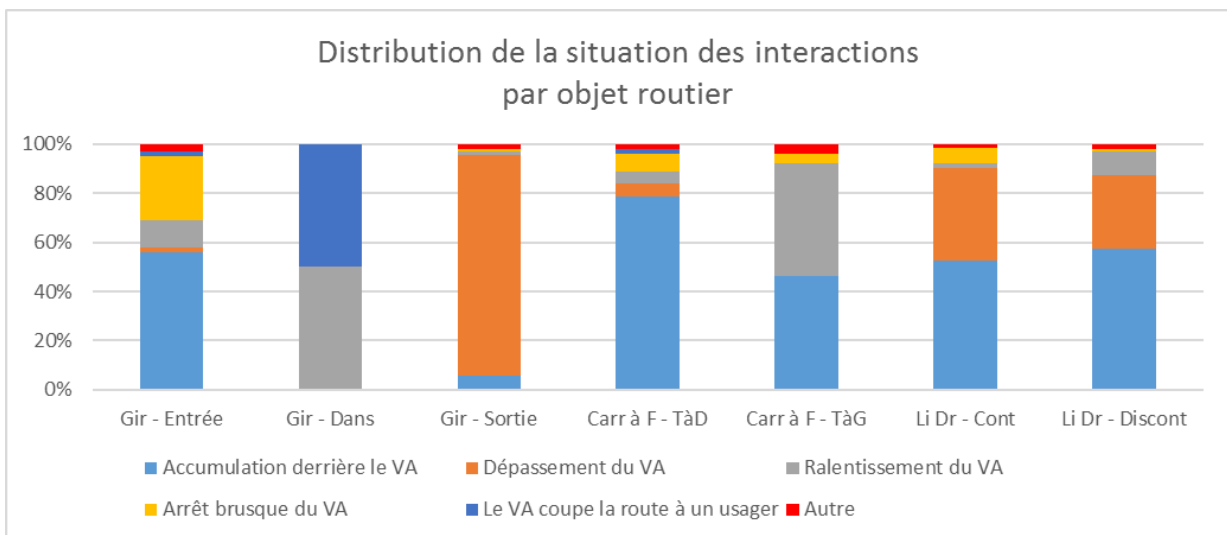


Figure 8 : Distribution de la situation des interactions par objet routier

En revanche, lorsque l’on transpose ces mêmes résultats en pourcentage du total (**Figure 8**) pour chaque objet routier, nous observons tout de même une certaine récurrence pour certaines situations, bien que moins fréquentes que les deux premières. Nous remarquons une certaine récurrence sur les ralentissements (**6%** des interactions totales) et les arrêts brusques (**7%** des interactions totales) de la navette autonome. Nous relevons aussi quelques situations où la navette coupe la route à un usager à l’intérieur du giratoire (moins de **1%** des interactions totales), ce qui est une situation très accidentogène.

## 2.3. Scénarios récurrents

Il est nécessaire de noter que les interactions observées entre la navette autonome et les autres usagers de la voirie, sont des événements de premier degré, qui ont engendré dans la plupart des cas d'autres situations dépendant de la première interaction. C'est-à-dire que la première réaction de la navette face à la situation rencontrée provoque un « enchaînement » d'événements, constituant un « Scénario ». Nous avons observé lors du visionnage des enregistrements vidéos, des scénarios composés de plusieurs situations et/ou interactions. Les observations notées lors du visionnage préliminaire des vidéos, qui nous ont permis de noter une certaine récurrence de situations que l'on a qualifié de second degré, en fonction d'une interaction initiale, nous ont fait mettre en place des statistiques descriptives sur deux niveaux d'interactions. Nous avons donc pu constituer de nouvelles données que nous pouvons voir dans le **Tableau 6**, qui indiquent pour chaque type d'interaction qui a lieu en premier, le nombre d'interactions secondaires qui en découlent.

| Action Principale           | Action Secondaire           | C1 - Giratoire | C2 - Rue Mouchotte | C3 - Carrefour à Feu | C4 - Rue d'Halbrane | TOTAUX      |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| Accumulation derrière le VA | Vide                        | 128            | 178                | 104                  | 71                  | 481         |
|                             | Dépassement du VA           | 22             | 0                  | 0                    | 1                   | 23          |
|                             | Ralentissement du VA        | 1              | 0                  | 2                    | 0                   | 3           |
|                             | Arrêt brusque du VA         | 2              | 0                  | 0                    | 0                   | 2           |
|                             | Le VA coupe la route        | 1              | 0                  | 1                    | 0                   | 2           |
|                             | Autre                       | 1              | 1                  | 0                    | 1                   | 3           |
| <b>TOTAL</b>                |                             | <b>155</b>     | <b>179</b>         | <b>107</b>           | <b>73</b>           | <b>514</b>  |
| Dépassement du VA           | Vide                        | 374            | 97                 | 0                    | 11                  | 482         |
|                             | Accumulation derrière le VA | 21             | 6                  | 0                    | 2                   | 29          |
|                             | Ralentissement du VA        | 2              | 2                  | 0                    | 21                  | 25          |
|                             | Arrêt brusque du VA         | 5              | 19                 | 3                    | 14                  | 41          |
|                             | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Autre                       | 1              | 0                  | 0                    | 3                   | 4           |
| <b>TOTAL</b>                |                             | <b>403</b>     | <b>124</b>         | <b>3</b>             | <b>51</b>           | <b>581</b>  |
| Ralentissement du VA        | Vide                        | 12             | 17                 | 5                    | 1                   | 35          |
|                             | Accumulation derrière le VA | 27             | 0                  | 3                    | 4                   | 34          |
|                             | Dépassement du VA           | 0              | 0                  | 0                    | 3                   | 3           |
|                             | Arrêt brusque du VA         | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Autre                       | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
| <b>TOTAL</b>                |                             | <b>39</b>      | <b>17</b>          | <b>8</b>             | <b>8</b>            | <b>72</b>   |
| Arrêt brusque du VA         | Vide                        | 27             | 3                  | 4                    | 3                   | 37          |
|                             | Accumulation derrière le VA | 32             | 2                  | 2                    | 2                   | 38          |
|                             | Dépassement du VA           | 4              | 2                  | 1                    | 7                   | 14          |
|                             | Ralentissement du VA        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Autre                       | 0              | 0                  | 2                    | 4                   | 6           |
| <b>TOTAL</b>                |                             | <b>63</b>      | <b>7</b>           | <b>9</b>             | <b>16</b>           | <b>95</b>   |
| Le VA coupe la route        | Vide                        | 2              | 2                  | 1                    | 0                   | 5           |
|                             | Accumulation derrière le VA | 1              | 0                  | 0                    | 0                   | 1           |
|                             | Dépassement du VA           | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Ralentissement du VA        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Arrêt brusque du VA         | 0              | 0                  | 2                    | 0                   | 2           |
|                             | Autre                       | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
| <b>TOTAL</b>                |                             | <b>3</b>       | <b>2</b>           | <b>3</b>             | <b>0</b>            | <b>8</b>    |
| Autre                       | Vide                        | 9              | 10                 | 2                    | 3                   | 24          |
|                             | Accumulation derrière le VA | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Dépassement du VA           | 0              | 0                  | 0                    | 3                   | 3           |
|                             | Ralentissement du VA        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Arrêt brusque du VA         | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
|                             | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0           |
| <b>TOTAL</b>                |                             | <b>9</b>       | <b>10</b>          | <b>2</b>             | <b>6</b>            | <b>27</b>   |
| <b>TOTAL GENERAL</b>        |                             | <b>672</b>     | <b>339</b>         | <b>132</b>           | <b>154</b>          | <b>1297</b> |



### 2.3.1. Accumulations derrière le VA

Lorsque nous avons observé un ralentissement du trafic par l'accumulation de véhicules derrière la navette autonome, nous avons également observé d'autres interactions secondaires (**Tableau 7**). Mais ces interactions secondaires pour la situation initiale d'accumulation derrière la navette autonome ont été observées dans très peu de cas. Le scénario où la navette, par sa faible vitesse, engendre un ralentissement global du trafic, et où l'infrastructure ne permet pas le dépassement, ce qui mène à des accumulations derrière elle sans que d'autres actions des usagers ne soient possibles, a été observé principalement. Le cas où l'accumulation derrière la navette est observable comme seule interaction, est prépondérante, et ce dans 94% des cas d'accumulation, et 37% des cas des interactions totales.

| Action Principale           | Action Secondaire    | C1 - Giratoire | C2 - Rue Mouchotte | C3 - Carrefour à Feu | C4 - Rue d'Halbrane | TOTAUX     |
|-----------------------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|------------|
| Accumulation derrière le VA | Vide                 | 128            | 178                | 104                  | 71                  | 481        |
|                             | Dépassement du VA    | 22             | 0                  | 0                    | 1                   | 23         |
|                             | Ralentissement du VA | 1              | 0                  | 2                    | 0                   | 3          |
|                             | Arrêt brusque du VA  | 2              | 0                  | 0                    | 0                   | 2          |
|                             | Le VA coupe la route | 1              | 0                  | 1                    | 0                   | 2          |
|                             | Autre                | 1              | 1                  | 0                    | 1                   | 3          |
| <b>TOTAL</b>                |                      | <b>155</b>     | <b>179</b>         | <b>107</b>           | <b>73</b>           | <b>514</b> |

Ces chiffres montrent qu'en plus du grand nombre de situations où la navette autonome provoque une accumulation de véhicules derrière elle, et donc un ralentissement global du trafic, il n'y a que très peu de cas où cette accumulation mène à d'autres types d'interactions. Effectivement, ces ralentissements et ces accumulations sont en règle générale de mise lorsque la navette autonome arrive au giratoire ou au carrefour à feu. De fait, il n'y a pas forcément de possibilité pour les autres usagers de faire autrement que d'adapter leur vitesse à la navette, provoquant ainsi ce ralentissement et cette accumulation, sans que le trafic ne puisse se fluidifier de lui-même par le dépassement de la navette par les autres usagers. Ce phénomène est également dû au type de marquage au sol sur les lignes droites, qui présentent notamment pour la rue Mouchotte (lignes blanches continues). La navette autonome se retrouve donc dans la quasi-totalité des cas la première de la file lorsqu'elle arrive devant le giratoire et/ou le carrefour à feu. Par ailleurs, il est notable que la présence d'une accumulation de véhicules derrière la navette en entrée de giratoire semble se disperser à la sortie du giratoire. Les dépassements en sortie de giratoire ne sont donc plus considérés comme résultants de l'accumulation mais comme une nouvelle interaction.

### 2.3.2. Dépassements du VA

Les situations de dépassement de la navette autonome par d'autres usagers sont celles qui ont été observées le plus de fois. L'endroit où cette situation a été le plus observée, est de loin dans la zone du giratoire, avec **69%** des cas de dépassement, soit **31%** du total des interactions relevées. Ce qui a été le plus souvent observé dans les cas de dépassement de la navette autonome, c'est qu'aucune autre interaction n'en découlait, avec **83%** des cas de dépassement et **37%** des interactions totales, comme nous pouvons le voir dans le **Tableau 8**.

| Action Principale | Action Secondaire           | C1 - Giratoire | C2 - Rue Mouchotte | C3 - Carrefour à Feu | C4 - Rue d'Halbrane | TOTAUX     |
|-------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|------------|
| Dépassement du VA | Vide                        | 374            | 97                 | 0                    | 11                  | 482        |
|                   | Accumulation derrière le VA | 21             | 6                  | 0                    | 2                   | 29         |
|                   | Ralentissement du VA        | 2              | 2                  | 0                    | 21                  | 25         |
|                   | Arrêt brusque du VA         | 5              | 19                 | 3                    | 14                  | 41         |
|                   | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0          |
|                   | Autre                       | 1              | 0                  | 0                    | 3                   | 4          |
| <b>TOTAL</b>      |                             | <b>403</b>     | <b>124</b>         | <b>3</b>             | <b>51</b>           | <b>581</b> |

Concernant le giratoire, la plupart des dépassements à la sortie du giratoire se font car la navette autonome est à l'arrêt sur l'arrêt de pose et de dépose des voyageurs. Les autres usagers de la voirie se contentent donc tout simplement dans ces cas-là de dépasser une navette déjà à l'arrêt. En ce qui concerne les dépassements sur la rue Mouchotte, la navette autonome est la plupart du temps prise dans une circulation plutôt dense, provoquant elle-même des ralentissements. Nous avons donc observé que dans beaucoup de cas, les usagers qui dépassaient la navette, effectuaient en fait une remontée de file. La navette toujours prise dans la circulation, n'est donc en règle générale pas impactée par ce dépassement en remontée de file, d'où le fait que la majorité des situations de dépassements de la navette autonome ne soit pas suivie d'une autre interaction.

En revanche, dans des zones où la circulation est moins dense, et où les dépassements sont envisageables, c'est-à-dire plutôt sur la rue d'Halbrane qu'à l'approche du carrefour à feu, on observe des actions de la navette induite par une interaction initiale.

Nous avons observé que le dépassement de la navette par un usager de la voirie, est suivi par un ralentissement, voire un arrêt brusque de celle-ci dans **17%** des cas, soit **6%** du total des cas de dépassement dans la zone de la rue d'Halbrane, et dans **69%** des cas, soit **4%** du total des cas de dépassement sur la rue Mouchotte. En effet, Lorsque les autres usagers dépassent la navette autonome, ceux-ci se rabattent dans beaucoup de cas observés, trop près devant elle, ce qui provoque son ralentissement, voire son arrêt brusque lorsque le rabattement est trop proche. Néanmoins, lorsque l'usager se rabat assez loin de la navette, celle-ci ne modifie pas sa vitesse.

Il a également souvent été observé une réaction en chaîne : un usager dépasse la navette, se rabat trop près d'elle, et provoque son ralentissement ou un arrêt brusque, poussant un deuxième usager, (voire plusieurs), qui suivait derrière, à adapter sa vitesse au dernier moment, ou bien à effectuer un évitement puis un dépassement en urgence.

### 2.3.3. Ralentissements et arrêts brusques du VA

Tableau 9 : Compilation des interactions secondaires pour les ralentissements du VA

| Action Principale    | Action Secondaire           | C1 - Giratoire | C2 - Rue Mouchotte | C3 - Carrefour à Feu | C4 - Rue d'Halbrane | TOTAUX    |
|----------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| Ralentissement du VA | Vide                        | 12             | 17                 | 5                    | 1                   | 35        |
|                      | Accumulation derrière le VA | 27             | 0                  | 3                    | 4                   | 34        |
|                      | Dépassement du VA           | 0              | 0                  | 0                    | 3                   | 3         |
|                      | Arrêt brusque du VA         | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0         |
|                      | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0         |
|                      | Autre                       | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0         |
| <b>TOTAL</b>         |                             | <b>39</b>      | <b>17</b>          | <b>8</b>             | <b>8</b>            | <b>72</b> |

Les chiffres du **Tableau 9** sont assez faibles, par rapport à ceux qui ont déjà été analysés, et ne représentent que **6%** du total des interactions relevées, nous pouvons confirmer ce que nous avons cité dans la section « Dépassement du VA » et par les observations préliminaires, qu'un dépassement qui provoque un ralentissement ou un arrêt de la navette, induit sur un troisième niveau d'interaction, une accumulation derrière le VA, d'autres usagers qui ont été obligés d'adapter leur vitesse derrière la navette. Plus globalement, mise à part les fois où la navette s'est mise à ralentir en action initiale, sans que cela soit dû à d'autres interactions, le ralentissement de la navette autonome induit une adaptation de la vitesse des autres usagers par contrainte, et provoque ainsi une accumulation.

**Tableau 10 : Compilation des interactions secondaires pour les ralentissements du VA**

| Action Principale          | Action Secondaire           | C1 - Giratoire | C2 - Rue Mouchotte | C3 - Carrefour à Feu | C4 - Rue d'Halbrane | TOTAUX    |
|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| <b>Arrêt brusque du VA</b> | Vide                        | 27             | 3                  | 4                    | 3                   | 37        |
|                            | Accumulation derrière le VA | 32             | 2                  | 2                    | 2                   | 38        |
|                            | Dépassement du VA           | 4              | 2                  | 1                    | 7                   | 14        |
|                            | Ralentissement du VA        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0         |
|                            | Le VA coupe la route        | 0              | 0                  | 0                    | 0                   | 0         |
|                            | Autre                       | 0              | 0                  | 2                    | 4                   | 6         |
| <b>TOTAL</b>               |                             | <b>63</b>      | <b>7</b>           | <b>9</b>             | <b>16</b>           | <b>95</b> |

Au même titre que pour les ralentissements de la navette autonome, ses arrêts brusques induisent dans beaucoup de cas observés de nouvelles accumulations derrière la navette autonome comme nous pouvons le voir dans le **Tableau 10**, et ce dans **40%** des cas observés d'arrêt brusque de la navette autonome, mais représentant seulement **3%** des interactions totales. Dans de moindres mesures, l'arrêt brusque de la navette pousse les autres usagers à la dépasser, lorsque ceux-ci en ont la possibilité. On peut notamment observer ce phénomène à plusieurs reprises sur la rue d'Halbrane, qui laisse cette alternative aux usagers, sans les contraindre à rester derrière la navette et à ralentir. De plus, nous avons relevé plus d'observations de situations d'arrêts brusques de la navette autonome dans la zone du giratoire, dans **66%** des cas d'arrêt brusque de la navette autonome, représentant seulement **5%** des interactions totales.

## 3. Subjectivation des comportements observés

### 3.1. Questionnaire sur la perception de la navette autonome

#### 3.1.1. Introduction

L'évaluation de la navette autonome s'est déroulée en deux étapes. En complément des observations bord de voie par caméras (Section 2, données objectives), un questionnaire a été élaboré afin de recueillir le ressenti et les représentations des participants quant à la navette autonome et leurs interactions avec celles-ci. En effet, des expérimentations concernant soit des navettes autonomes à vocations de transport en commun ou de véhicules autonomes de type « robot taxi » (c.-à-d., mobilité à la demande) sont déployés sur le territoire. Ces expérimentations amènent pour la plupart à des modifications d'infrastructures (par ex., feux tricolore connectés, marquages...). Le ressenti ou la représentation qu'ont les usagers en interaction avec les VA quant au VA et quant à la nature de leurs interactions n'est généralement pas évaluée. Cette section présente le contexte du questionnaire et les raisons qui font que les résultats de celui-ci n'ont pu être exploités correctement.

#### 3.1.2. Méthode

Ce questionnaire était introduit par une note d'information au participant (ci-dessous) dont le principe est de présenter rapidement le contexte du questionnaire et l'objectif de celui-ci :

*« Titre de l'étude : Ressenti quant à la circulation de la navette autonome sur le site interentreprises de Bouguenais.*

*La mise en service d'une navette autonome modifie l'environnement routier, les habitudes de déplacements des usagers. Afin d'estimer l'impact de la mise en service de navettes autonomes en termes de sécurité pour les usagers de la route, le Cerema Normandie Centre dans le cadre d'une évaluation réalisée par la Métropole de Nantes, souhaite recueillir votre ressenti à travers un questionnaire.*

*Il n'y a pas de bonnes ou mauvaises réponses. C'est **vos avis** qui nous intéresse. Afin d'estimer l'impact en termes de sécurité de l'introduction des navettes autonomes dans la circulation, vos réponses nous seront, de ce point de vue, précieuses.*

*Si vous le désirez, vous pouvez être tenu au courant des résultats globaux de l'étude en vous **adressant à XXX** ».*

Ce questionnaire était composé de deux parties : la première partie (bloc A et bloc B du questionnaire) concernait le recueil de quelques caractéristiques démographiques dans le bloc A (date de renseignement du questionnaire, sexe, âge, détention d'un permis) et a cherché à recueillir les impressions des usagers quant à leurs interactions avec la navette autonome du site de Bouguenais (bloc B). Les questions de ce bloc concernaient la situation la plus réalisée en interaction avec la navette parmi :

- Traversée sur passage piéton
- Traversée en dehors d'un passage piétons
- Suivi et dépassement (en vélo ou en voiture)
- En sortie de la piste cyclable
- Croisement (en voiture, en vélo)
- Circulation en voiture ou vélo (devant ou derrière la navette), sans dépassement
- En cheminement en tant que piéton
- Autre (précisez) : \_\_\_\_\_

Dans le bloc B, il s'agit d'estimer si le fait que la situation (de traversée de piéton, croisement ...) se soit produite avec une navette autonome avait changé quelque chose par rapport à la même situation mais avec une voiture, un bus ou une motocyclette. Le même type de question en terme de sécurité et de danger a été posée.

Si la personne n'avait pas interagi avec la navette, elle passait directement à la deuxième partie du questionnaire. La deuxième partie (bloc C et bloc D du questionnaire) a cherché à recueillir les impressions générales sur les navettes et autres véhicules autonomes (bloc C) notamment en terme de sécurité routière, et le niveau d'utilisation de nouvelles technologies ou de systèmes d'aide à la conduite (bloc D).

Dans ce questionnaire, les participants devaient répondre :

- Soit à des questions fermées, de type « Oui », « Non », « Ne sait pas ».
- Soit à des questions ouvertes. Les questions ouvertes visaient à déterminer les motivations et les impressions des participants qui avaient utilisés la navette.
- Soit donner leur degré d'accord avec une proposition faite, concernant la situation (traversée de piéton, croisement...) avec la navette autonome de Bouguenais, notamment en terme de changement, de sécurité ou de danger, sur une échelle en sept points allant de -3 "pas du tout d'accord" à +3 "tout à fait d'accord"<sup>1</sup>. Les participants avaient aussi la possibilité de commenter leur degré d'accord avec la proposition faite, pour certaines propositions.

Par exemple :

**« Votre action en présence de la navette aurait été différente s'il s'était agi d'un bus ou d'un car conduit par un chauffeur »**

Pas du tout d'accord      -3      -2      -1      0      +1      +2      +3      Tout à fait d'accord

**Décrivez-en quoi s'il vous plaît**

---

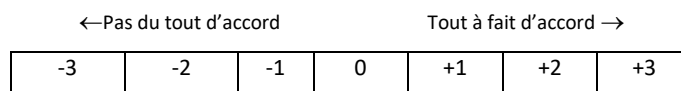


---

Ce questionnaire a été réalisé sous format papier, les participants l'ont renseigné dans le restaurant inter-entreprise avec une urne à disposition pour le déposer une fois renseigné.

Deux cents personnes ont renseigné le questionnaire, 151 l'ont eu sous format A3 (set de table) et 49 sous format livret (A5).

Suite au non-respect de la mise en page de l'échelle de réponse (illustration ci-dessous) lors de l'impression, les questionnaires n'ont pu être exploités de manière aussi fine que ce qu'il était initialement prévu, l'échelle de conformité étant biaisée.



Néanmoins, malgré cette limite méthodologique, nous avons choisi de tout de même traiter les données d'enquête de manière globale. Pour cela, nous avons considéré que les réponses allant de -3 à -1 constituaient une réponse « défavorable » et que les réponses allant de +1 à +3 constituaient une réponse « favorable ». Nous avons donc converti notre échelle de conformité initiale qui était sur sept points en une échelle de conformité sur trois points : « défavorable », « neutre » et « favorable ».

<sup>1</sup> Les participants devaient donner leur degré d'accord avec une proposition faite sur une échelle en sept points allant de -3 "pas du tout d'accord" à +3 "tout à fait d'accord". L'échelle de mesure était en 7 points (de -3 à +3).

### 3.1.3. Description du panel enquêté

Au total, **199** personnes ont répondu à l'enquête, qui a été déployée sous forme de set de table dans le restaurant inter-entreprises lors des pauses déjeuner. Parmi les répondants, **77%** d'entre eux sont des hommes, et **33%** sont des femmes.

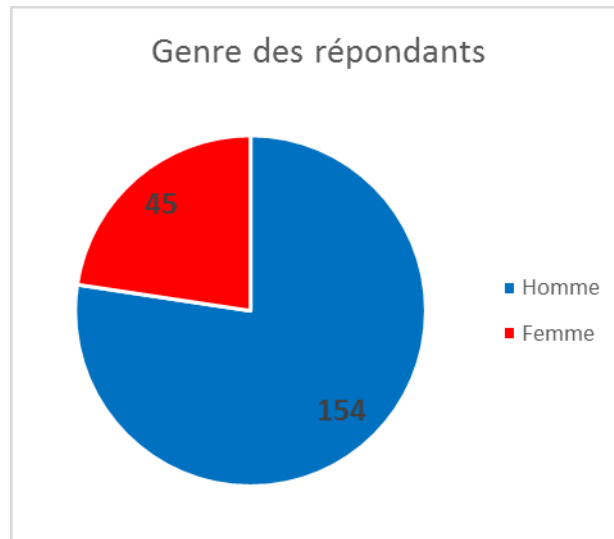


Figure 9 : Genre des répondants

La moyenne d'âge des personnes qui ont répondu à l'enquête est d'environ **41 ans**.

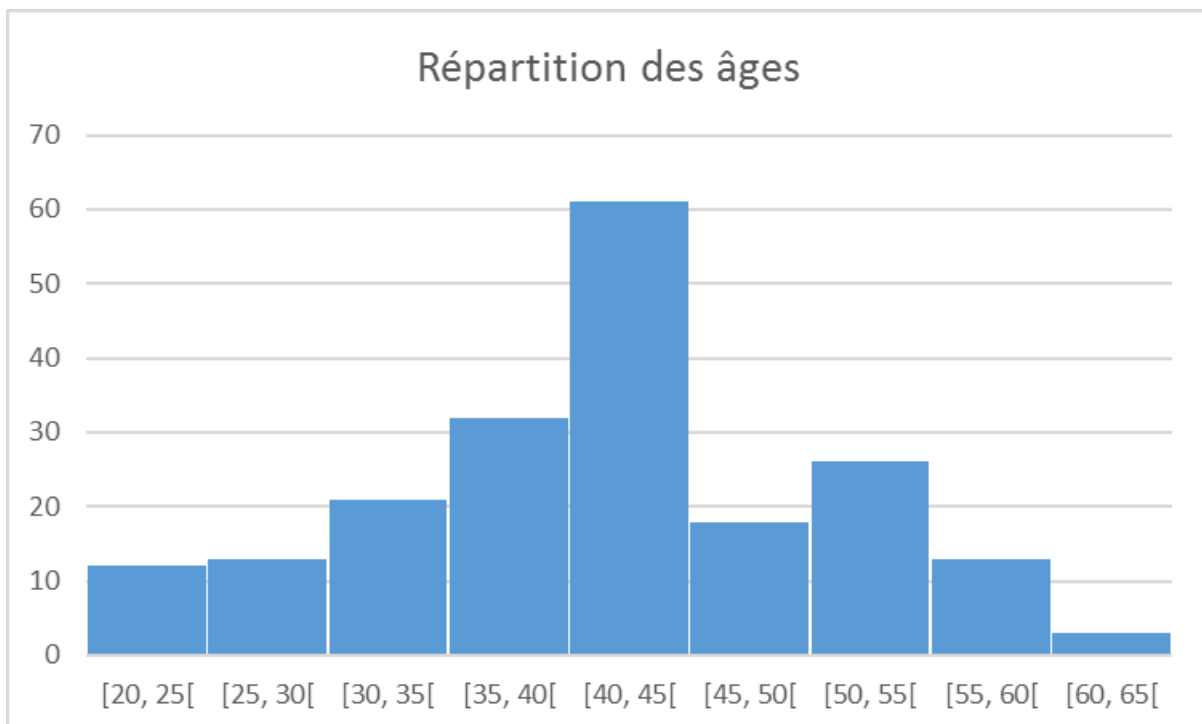


Figure 10 : Répartitions des âges des répondants

Une grande partie des répondants sont possesseurs du permis de conduire (**85%**), et la plupart d'entre eux est titulaire d'un permis B (**69%**).

| Possession du permis | Sans permis | 29  | 15% |
|----------------------|-------------|-----|-----|
|                      | Avec permis | 170 | 85% |
| Catégorie de permis  | Cat A       | 29  | 15% |
|                      | Cat B       | 138 | 69% |
|                      | Cat C       | 2   | 1%  |
|                      | BSR         | 1   | 1%  |

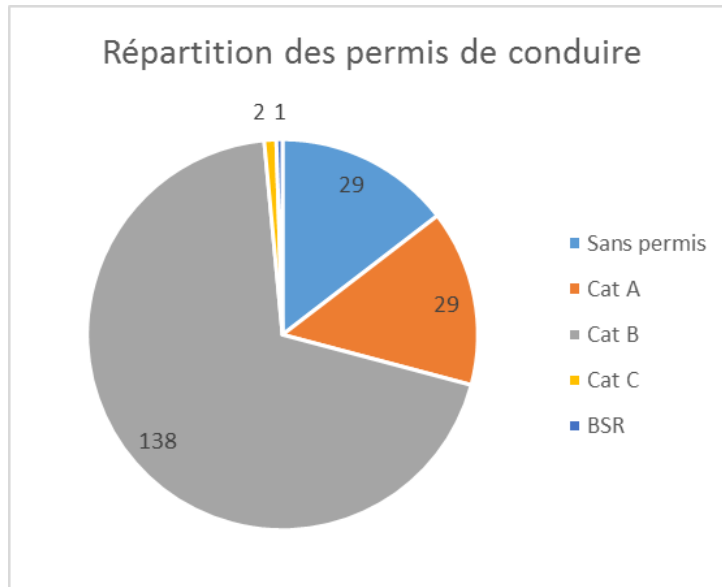


Figure 11 : Répartition des types de permis de conduire des répondants

La durée de possession moyenne du permis de conduire des répondants est de **23 ans**. Et **89%** des répondants possèdent le permis de conduire depuis plus de 10 ans. Nous pouvons en conclure que la majorité des personnes qui ont répondu au questionnaire, sont des conducteurs expérimentés.

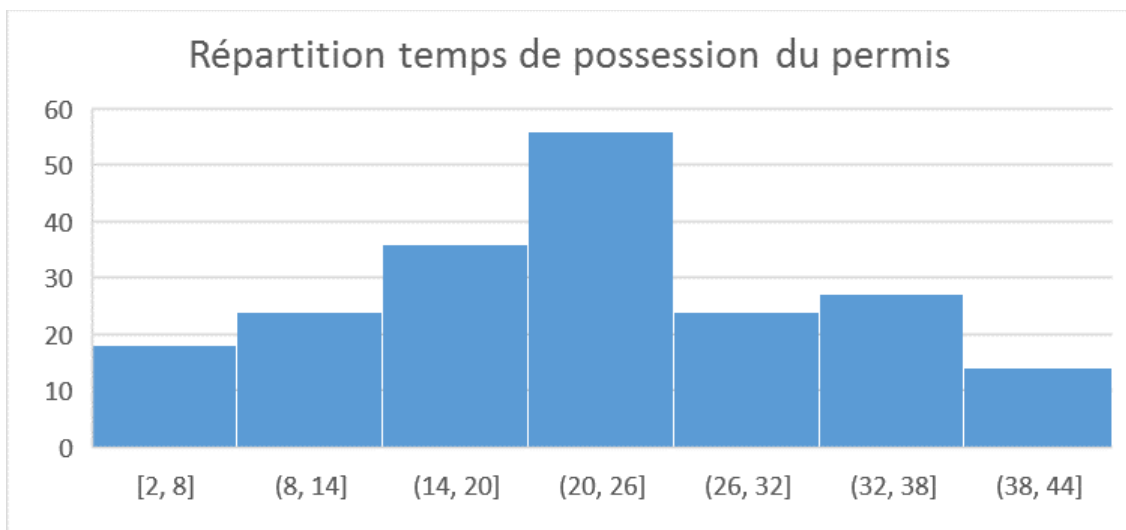


Figure 12 : Répartition des temps de possession du permis

## 3.2. Interactions avec la navette autonome

### 3.2.1. Premier contact avec la navette autonome

Sur l'ensemble des répondants, **84%** sont déjà entrés en interaction avec la navette autonome au moment où ils ont répondu au questionnaire.

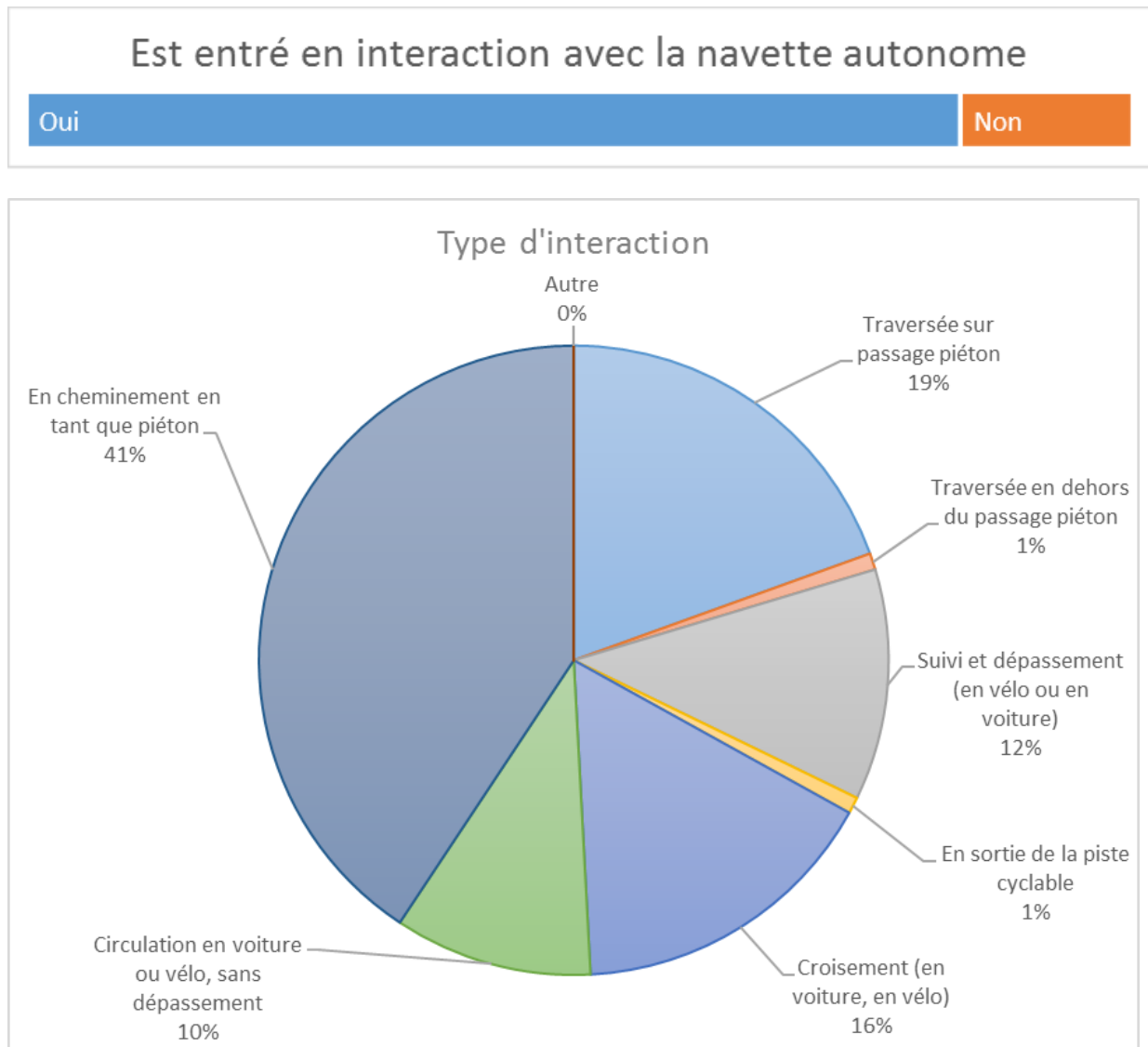


Figure 13 : Répartition des types d'interactions entre les répondants et la navette autonome



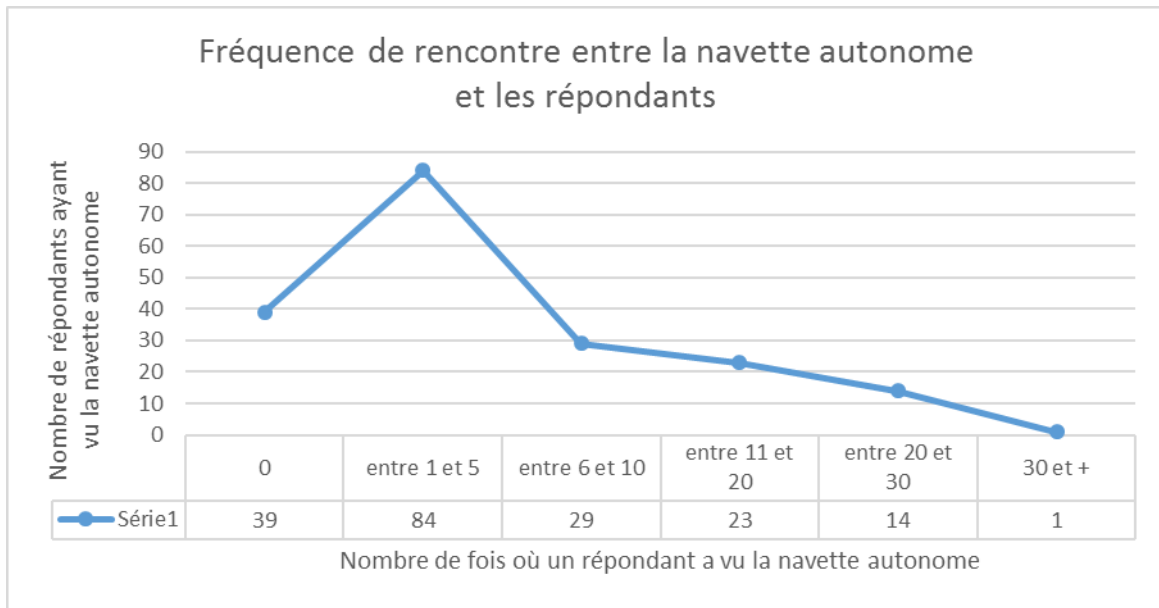


Figure 14 : Nombre de fois où les répondants ont aperçu la navette autonome

Au total 84 répondants déclarent avoir aperçu la navette autonome entre 1 et 5 fois, 29 déclarent l’avoir aperçu entre 6 et 10 fois, 23 déclarent l’avoir aperçue entre 11 et 20 fois, 14 déclarent l’avoir aperçu entre 20 et 30 fois, et 1 personne déclare l’avoir aperçue plus d’une trentaine de fois.

Les répondants ont aperçu la navette autonome en moyenne 7,64 fois. Le premier quartile est à 1, le second quartile est à 4, et le 3<sup>ème</sup> quartile est à 10. Les optimums sont respectivement 0 et 35 fois la navette observée.

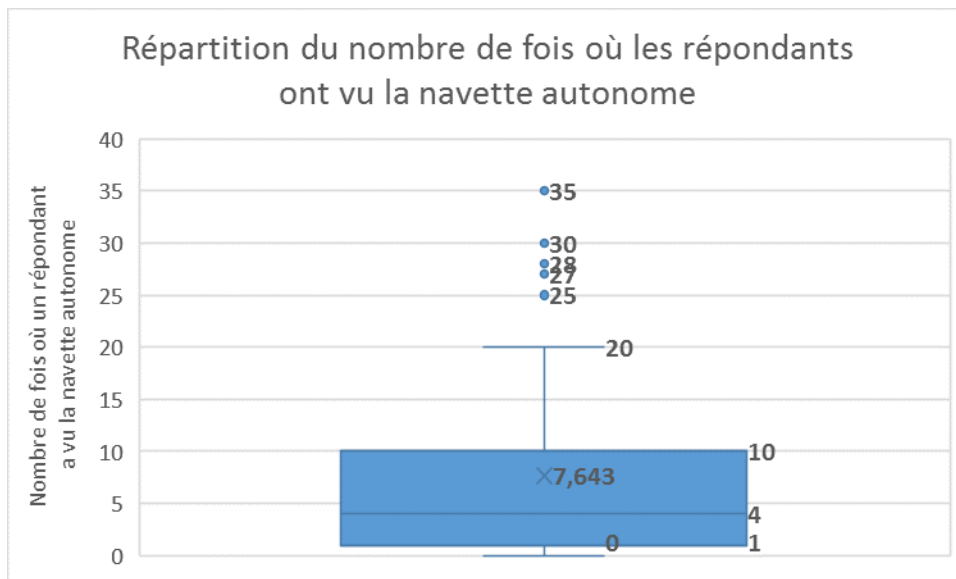


Figure 15 : Répartition du nombre de fois où les répondants ont aperçu la navette autonome

Parmi les personnes qui ont croisé la navette autonome, **97%** affirment s’être rendu compte qu’il s’agissait d’un véhicule autonome au moment où ils l’ont aperçue.

### 3.2.2. Comportements à la rencontre de la navette autonome

Parmi les répondants, **40%** d'entre eux affirment avoir adopté un comportement différent de ce dont ils ont l'habitude, en présence de la navette autonome.



Les principaux mots clefs qui ressortent de l'enquête vis-à-vis de cette question, sont vigilance, prudence, attention, et méfiance, ceci ponctué par une pointe d'agacement, notamment vis-à-vis de la faible vitesse de la navette et de ses freinages intempestifs.

Un total de **33%** des répondants auraient adopté un comportement différent s'il s'était agi d'un bus plutôt que de la navette autonome.



Un total de **38%** des répondants auraient adopté un comportement différent s'il s'était agi d'une voiture plutôt que de la navette autonome.



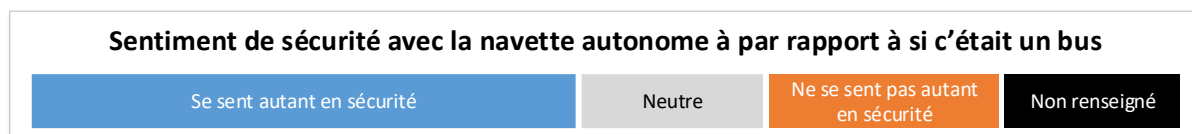
Un total de **38%** des répondants auraient adopté un comportement différent s'il s'était agi d'un deux-roues motorisé plutôt que de la navette autonome.



Quel que soit le type de véhicule traditionnel (2RM, VL, PL ...), la proportion des usagers qui auraient changé leur comportement par rapport à la navette autonome reste la même. Le type de véhicule rencontré ne change pas significativement le comportement de l'utilisateur au moment de la rencontre, et qu'il s'agisse d'un bus, d'un VL ou d'un 2RM, plus de la moitié des répondants déclarent qu'ils n'adoptent pas le même comportement selon qu'ils croisent la navette autonome ou un autre véhicule traditionnel.

### 3.2.3. Sentiment de sécurité face à la navette autonome

Le sentiment de sécurité est mitigé. Environ **47%** des répondants affirment se sentir autant en sécurité à la rencontre de la navette autonome, que si c'était un bus conduit par un chauffeur. Alors que **23%** affirment ressentir un potentiel danger à la rencontre de la navette, qu'ils n'auraient pas senti s'il s'était agi d'un bus.



Ce qui ressort le plus des réponses au questionnaire, c'est que le manque d'habitude des usagers à rencontrer ce nouvel objet, les pousse à adopter davantage de prudence que lors de situations plus habituelles, comme de rencontrer un bus. En effet, les répondants parlent de méfiance due au manque de communication non verbale, et à l'absence de contact visuel avec un autre usager. Au total, 50 personnes sur 199 ont précisé de manière ouverte leurs ressentis en terme de sécurité face à la navette autonome, 30 d'entre elles parlent de vigilance accrue, voire de méfiance. Néanmoins, beaucoup de répondants se sentent en sécurité, du fait de l'aspect normé d'un « robot » par rapport au caractère imprévisible de l'humain.

Nous retrouvons à peu près les mêmes proportions de réponses lorsque la question se pose pour d'autres véhicules légers conduits par des personnes à part entière, à savoir **46%** des répondants affirment se sentir autant en sécurité à la rencontre de la navette autonome, qu'en situation habituelle.



Enfin, ces chiffres restent globalement les mêmes lorsque l'on aborde le sujet sous l'angle des deux-roues motorisés, à savoir de l'ordre des **44%**.



Globalement, les répondants ne se sont pas sentis en danger à la rencontre de la navette autonome, puisque seulement **8%** des répondants ont déclaré ressentir un sentiment de danger lorsqu'ils se retrouvaient en interaction avec la navette autonome.



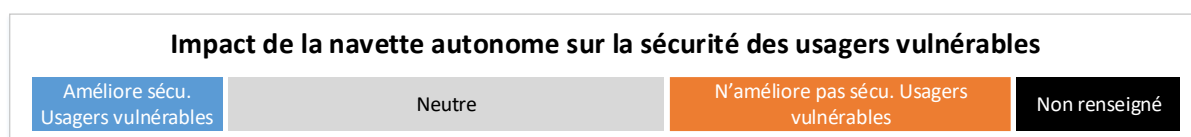
Parmi les répondants qui ont déclaré ressentir un sentiment de danger face au véhicule autonome, les arguments les plus récurrents étaient ceux de la lenteur de la navette, ses freinages intempestifs, et ses réactions brusques. D'autre part, certains évoquaient une méfiance vis-à-vis des nouvelles technologies, et d'autres la peur des réactions imprévisibles des autres usagers en interaction avec la navette autonome. En revanche, pour les répondants ayant eu la possibilité d'utiliser la navette autonome, ceux-ci étaient rassurés par la présence d'un agent à bord, et semblent avoir été convaincus par la fiabilité des systèmes de détection.

Nous observons la récurrence de certains termes dans les questions ouvertes concernant le danger perçu des usagers à la rencontre de la navette autonome :

- Des termes liés à des réactions violentes et des freinages trop brusques de la navette, ont été relevés **29** fois.
- Des termes liés à la peur et au manque de confiance, tant envers la navette que des autres usagers autour d'elle, ont été relevés **7** fois.
- Des termes liés à la gêne, au manque de fluidité et à la lenteur de la navette, ont été relevés **24** fois.
- Des termes liés à l'incompréhension, au manque de prévisibilité et au manque d'information, ont été relevés **12** fois.

Pour **16%** des répondants, l'introduction de la navette autonome dans la circulation de la zone de Bouguenais, améliorerait la sécurité des usagers « vulnérables », à savoir les piétons, les cyclistes, et les 2RM. Mais une grande partie des répondants (**31%**), pensent plutôt que cela n'aura pas pour effet d'améliorer leur sécurité, au contraire. En effet, la lenteur de la navette autonome aurait pour effet d'agacer et d'impatienter les autres usagers au volant de leur véhicule, et d'amplifier leur propension à commettre des actes potentiellement accidentogènes, tels que des dépassements dangereux, des accélérations sans prise d'informations, ou autres ...

De plus, l'aspect du manque de communication de la navette autonome à l'intention des autres usagers a également été soulevé. Les répondants estiment que moins de situations problématiques seraient engendrées, si la navette pouvait communiquer aux autres usagers qu'elle les a détectés, et quel serait son comportement face à la situation.



### 3.3. Opinions sur la navette autonome

#### 3.3.1. Déploiement de la navette autonome

69% des répondants sont favorables au déploiement de la navette autonome.



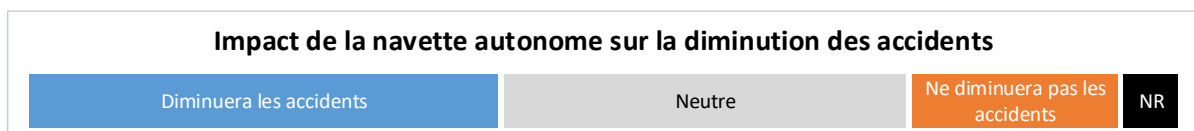
Néanmoins, un certain nombre de réserves ont été émises. Les répondants considèrent qu'un service de transport par véhicule autonome pourrait rendre précaire l'emploi du personnel de transport de voyageurs. D'autre part, certains déclarent que l'intégration d'une navette autonome serait mieux acceptée, et facilitée, si celle-ci se faisait dans une voie réservée à la navette, hors des flux de circulations conventionnels. Enfin, selon plusieurs répondants, la navette autonome doit impérativement être électrique, et respectueuse de l'environnement pour qu'ils soient entièrement favorables à son déploiement.

#### 3.3.2. Identification de la navette autonome

En accord avec certaines opinions qui ont déjà été relevées, la grande majorité des personnes qui ont répondu au questionnaire, affirment qu'il est impératif que la navette soit clairement identifiée comme autonome, à savoir **89%** des répondants. Ceci pour des questions de visibilité, de sécurité, pour adapter sa vigilance, mieux comprendre les situations, anticiper sa conduite, réduire l'anxiété produite par la lenteur de l'objet, et éventuellement savoir l'état du véhicule si celui-ci a un fonctionnement d'autonomie hybride.

#### 3.3.3. Impact de la navette autonome

**41%** les répondants estiment que l'introduction d'une navette autonome dans un contexte de circulation ouverte, permettrait de réduire les accidents de la route.



Parmi les répondants qui pensent que l'introduction d'une navette autonome dans la circulation diminuerait les accidents de la route, la plupart abordent le fait que l'aspect autonome diminue les risques liés aux facteurs humains, ainsi que le temps de réaction. En outre, un automate ne prendra pas de risques. En revanche, pour ce qui est des répondants qui pensent que la navette autonome ne diminuera pas les accidents, ceux-ci pensent justement que le facteur humain des usagers en dehors de la navette, fera que les risques seront toujours présents, à moins que le réseau ne soit exclusivement composé de véhicules autonomes. De plus, certains répondants nourrissent une certaine peur à l'égard des nouvelles technologies, et des potentiels dysfonctionnements qui pourraient survenir.

### 3.3.4. Motivations à utiliser la navette autonome

Parmi les répondants, **71%** déclarent être utilisateurs de nouvelles technologies dans leur quotidien, comme de la domotique, des outils connectés, ou autres objets robotisés.

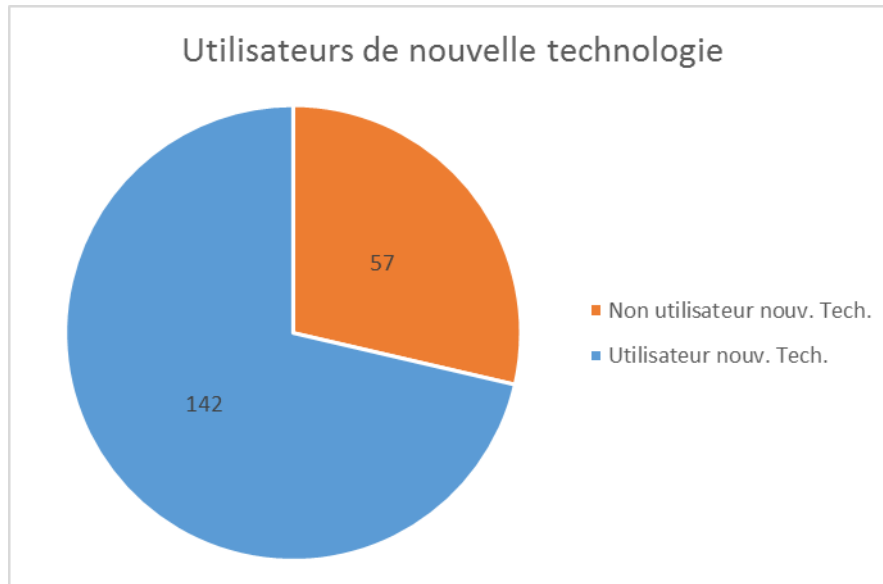


Figure 16 : Proportions des utilisateurs de nouvelles technologies parmi les répondants

Pour ce qui est de la technologie intégrée à la conduite, la proportion des répondants qui déclarent en être pourvus est encore plus conséquente, puisque **86%** d'entre eux disposent d'outils technologiques d'aide à la conduite, tels qu'un régulateur de vitesse, une caméra de recul, un freinage d'urgence automatique, une aide au maintien de trajectoire, ou autres ...

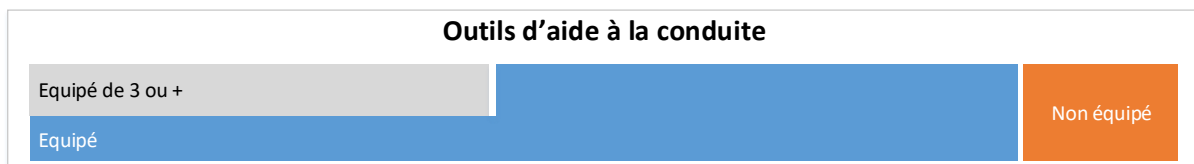


Figure 17 : Proportions des répondants équipés d'outils d'aide à la conduite

De plus, parmi les répondants équipés d'outils d'aides à la conduite, **45%** sont équipés de trois ou plus outils technologiques sur leur véhicule.

Un peu plus de la moitié des répondants, à savoir **57%**, ont déclaré désirer être davantage informés sur le sujet de la navette autonome. Néanmoins, 22 répondants, soit **11%**, déclarent ne pas vouloir en savoir plus à ce sujet. Le reste des répondants est sans avis.

Les motivations générales des répondants qui ont eu l'occasion de monter à bord de la navette autonome, tournent autour de la curiosité, l'attrait de la nouveauté et des nouvelles technologies, et le plaisir d'essayer. Dans une moindre mesure, les répondants ont déclaré être montés à bord de la navette pour des raisons pratiques, comme s'abriter de la pluie, gagner du temps ou aller au restaurant inter-entreprises sans être obligé de marcher ou de prendre son véhicule.

Au niveau des ressentis des répondants piétons, nous observons dans les questions ouvertes, la récurrence de certains termes :

- Des termes liés à la vigilance, la prudence et l'attention, ont été relevés **22** fois.
- Des termes liés à la peur et l'évitement, ont été relevés **2** fois.
- Des termes liés à la gêne, ont été relevés **2** fois.
- Des termes liés à l'incompréhension, ont été relevés **2** fois.
- Des termes liés à la curiosité, ont été relevés **5** fois.

Pour ce qui est des ressentis des répondants véhiculés, nous observons également certaines récurrences dans les questions ouvertes :

- Des termes liés à des ralentissements et à de la perte de temps, ont été relevés **14** fois.
- Des termes liés à des freinages, de la gêne et de l'adaptation, ont été relevés **10** fois.
- Des termes liés à la gêne, ont été relevés **2** fois.
- Des termes liés à la vigilance, la prudence et la méfiance, ont été relevés **8** fois.

Enfin, les impressions globales des répondants sont diverses :

- Peu d'intérêt
- Trop lent
- Freinage trop brutal
- Réactions imprévisibles
- Mauvaise adaptation à la circulation
- Impression de technologie pas au point
- Néanmoins confortable
- Et agréablement silencieuse

### 3.4. Questions ouvertes de l'enquête

Lorsque l'on confronte les réponses les plus récurrentes du questionnaire, aux données d'observations vidéos, certaines tendances peuvent être définies.

#### 3.4.1. La méfiance des piétons

Dans le questionnaire, certains aspects ressortent significativement. Les piétons indiquent être beaucoup plus vigilants, attentifs et prudents à l'approche de la navette autonome. Parfois même, ils indiquent sciemment s'éloigner du trottoir lorsque la navette passe à côté d'eux, pour ne pas provoquer d'arrêt intempestif. Ces comportements semblent relever d'inquiétudes des piétons, du fait que la navette ne puisse pas communiquer sa compréhension de la situation avec eux. En d'autres termes, les piétons ne savent pas si la navette les a clairement détectés, et si elle va adapter son comportement en considérant leur présence. Ceci relève globalement d'une question de confiance, et de peur de l'inconnu.

Contrairement aux autres usagers véhiculés, les piétons ont la possibilité de tout simplement éviter la navette. C'est-à-dire qu'ils peuvent attendre au passage piéton au lieu de traverser lorsque la navette vient, décider de ne pas traverser avant qu'elle ne soit passée, ou bien tout simplement rester éloignés. Les données d'observations vidéos montrent très peu d'interactions entre la navette autonome et des piétons. Pourtant, les usagers à pieds ne sont pas rares sur le site, au contraire, nombreux sont les personnes circulant à pieds dans la zone dans le créneau horaire où la navette autonome circule, c'est-à-dire dans la période du repas de midi. L'hypothèse que les piétons évitent la navette autonome est donc tout à fait recevable, même si elle n'est pas vérifiable au-delà de l'observation et des ressentis des usagers relevés par le biais de l'enquête.

Il est notable dans le **Tableau 12** que les interactions entre la navette autonome et les piétons ne représentent que 33 occurrences sur 1297, soit 2,5% du total des interactions relevées.

| Tableau 12 : Répartition des interactions avec des piétons par objet routier |              |               |                |          |           |
|--|--------------|---------------|----------------|----------|-----------|
| Interactions VA - Piéton   | Accumulation | Arrêt brusque | Ralentissement | Autre    | Total     |
| Rond Point - Entrée  | 4            | 7             | 5              | 0        | 16        |
| Rond Point - Dans  | 0            | 0             | 1              | 0        | 1         |
| Rond Point - Sortie  | 0            | 4             | 4              | 0        | 8         |
| Carrefour à Feu - TàD  | 0            | 0             | 2              | 0        | 2         |
| Carrefour à Feu - TàG  | 0            | 1             | 2              | 0        | 3         |
| Ligne Droite   | 0            | 1             | 1              | 1        | 3         |
| <b>Total</b>   | <b>4</b>     | <b>13</b>     | <b>15</b>      | <b>1</b> | <b>33</b> |



### 3.4.2. L'agacement des conducteurs

En ce qui concerne les usagers conducteurs de véhicules lourds ou légers qui ont eu l'occasion d'interagir avec la navette autonome, et de répondre au questionnaire, certains ressentis ressortent également facilement. Un certain agacement des conducteurs vis-à-vis de la navette autonome est en l'occurrence à noter. Les conducteurs insistent sur la forte propension à ralentir et à s'arrêter brusquement de la navette autonome, les poussant à adapter leur allure, souvent au dernier moment. De plus, les usagers notent le fait qu'il est la plupart du temps difficile, voire impossible, de dépasser la navette, ils sont contraints de rester derrière elle. Lorsque le dépassement est possible, il est nécessaire de se rabattre assez loin d'elle pour ne pas provoquer son arrêt brusque, ce qui allonge les durées de dépassement. Le ralentissement global du trafic dû au ralentissement et aux arrêts à répétitions de la navette a donc clairement été identifié par les usagers, et ceux-ci parlent d'une perte de temps liée à ces situations.

Associé à cet agacement devant la lenteur de la navette autonome, les conducteurs parlent aussi de vigilance et de prudence à adopter lorsqu'ils interagissent avec elle. Ils sont méfiants à l'approche de celle-ci, d'une part par peur de l'inconnu qu'elle représente, et d'autre part du fait que le peu qu'ils en aient vu, relèvent de situations plutôt anxiogènes, comme des freinages brusques, et des ralentissements intempestifs.

Lorsque nous comparons ceci aux données d'observations vidéos dans le **Tableau 13**, nous notons qu'effectivement, les freinages bruts, les ralentissements et les accumulations sont relativement fréquents, et que les dépassements le sont encore plus.

| Tableau 13 : Total des situations émanant de l'agacement des usagers |                             |                   |                      |                     |                         |
|--|-----------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Interactions   | Accumulation derrière le VA | Dépassement du VA | Ralentissement du VA | Arrêt brusque du VA | Total par objet routier |
| Total par situation  | 514                         | 581               | 72                   | 94                  | 1297                    |

## Conclusion

Nous pouvons conclure cette étude en répondant à plusieurs des hypothèses qui avaient été fixées par lors du visionnage préliminaire des vidéos. Des scénarios spécifiques s'observent régulièrement. Les chiffres sont donnés en pourcentage du nombre total des cas d'interactions.

- La navette autonome crée une accumulation de véhicules derrière elle. **(40% du total)**

La navette autonome est en effet source d'un ralentissement global du trafic, et empêche sa fluidité. Sa faible vitesse provoque une accumulation de véhicules derrière elle, qui ne peuvent pas, ou rarement la dépasser du fait des objets routiers. De fréquentes accumulations de véhicules derrière la navette autonome ont été notées, et les données d'observations relevées permettent de confirmer cette hypothèse.

- Les véhicules derrière la navette autonome adaptent leur vitesse à elle. **(46% du total)**

La faible vitesse de la navette autonome, et les objets routiers qui ne permet pas toujours de dépasser, forcent les véhicules qui arrivent à rester derrière tout en adaptant leur vitesse. La navette autonome cadence la vitesse globale du trafic, et crée de l'engorgement aux intersections. Les données d'observations relevées permettent de confirmer cette hypothèse.

- La navette autonome se fait dépasser. **(45% du total)**

La faible vitesse de la navette autonome pousse les véhicules qui suivent à la dépasser. Mais cela ne se vérifie pas dans la majorité des cas. La plupart du temps, les véhicules qui suivent n'ont pas la possibilité de dépasser, créant des accumulations. En revanche, dans des endroits où l'infrastructure le permet, comme dans des lignes droites, les véhicules ont tendance à dépasser la navette autonome, avec ou sans ligne blanche continue. L'hypothèse se vérifie donc grâce aux données d'observations relevées, mais dépend de la variable infrastructure.

- La navette autonome freine brusquement suite à un dépassement. **(5% du total)**

Dans les cas où la navette autonome se fait doubler, il arrive que les véhicules qui dépassent se rabattent trop près d'elle, faisant qu'elle freine brusquement. Dans d'autres cas, les véhicules se rabattent assez loin, et dans ces cas-là, la navette ne fait que ralentir, ou conserve sa vitesse. Néanmoins, dans la grande majorité des cas où la navette autonome se fait dépasser, les véhicules se rabattent trop près, et cela engendre fréquemment des arrêts brusques. Les données d'observations relevées permettent de vérifier l'hypothèse.

- La navette autonome freine ou ralentit brusquement, les véhicules derrière s'adaptent. **(6% du total)**

De manière globale, les véhicules qui suivent la navette autonome adaptent directement leur comportement à elle. Dans certains cas lorsqu'ils le peuvent, les véhicules qui suivent la doublent, mais le plus souvent, les véhicules se contentent d'adapter leur vitesse, et d'anticiper par excès de prudence des actions potentiellement gênantes de la navette. Il est donc peu fréquent que les véhicules qui suivent adaptent en urgence leur vitesse, ils ont au contraire anticipé leur adaptation en amont, soit en ralentissant directement, soit en dépassant sans même adapter leur vitesse. Cela peut peut-être s'expliquer par l'apparence peu conventionnelle de la navette, qui montre aux usagers que celle-ci représente un objet non habituel, potentiellement imprévisible, dont ils se méfient. Cette hypothèse se vérifie, mais pas complètement, ceci grâce aux données d'observations relevées, ainsi que par les réponses aux questions ouvertes du questionnaire.

Dans la seconde partie de notre étude, nous nous sommes penchés sur la question du ressenti des usagers de la zone de Bouguenais, qu'ils soient utilisateurs ou non du service de transport par navette autonome, et qu'ils soient piétons, cyclistes, conducteurs de VL ou de PL. Ces ressentis ont été relevés par le biais d'une enquête par questionnaires. Ce questionnaire était orienté sur la sécurité ressentie, et les dangers perçus. Au total, 199 questionnaires ont été remplis.

Conscients que la mise en page de l'échelle de conformité du questionnaire a introduit un biais méthodologique, nous avons pu exploiter les réponses aux questionnaires de manière globale, grâce à une nouvelle échelle de conformité sur trois points, au lieu des sept initialement prévus. Il faut toutefois garder à l'esprit que ces résultats sont à considérer avec la plus grande des précautions. Cela constitue une limite méthodologique de cette étude.

Les ressentis recueillis en termes de sécurité à la rencontre de la navette autonome sont assez mitigés. Les répondants soulignent le fait qu'il est nécessaire pour eux d'adopter davantage de vigilance et de prudence lorsqu'ils rencontrent la navette autonome. Ils soulèvent également le fait que la navette est source de gêne, du fait de ses nombreux ralentissements, parfois brusques, et du manque d'informations quant à ses réactions. En plus de cette méfiance, les résultats du questionnaire révèlent que la navette a tendance à forcer les usagers à adapter leurs comportements à elle, entre ralentissements, dépassements, et perte de temps, et que cela est source d'agacement, voire d'exaspération. D'ailleurs, cet agacement se retrouve tant dans les réponses aux questionnaires, qu'en observations vidéos.

Pour ce qui est du danger perçu par les personnes ayant répondu au questionnaire, les réactions violentes, les freinages brusques, la lenteur, le manque de fluidité ainsi que les réactions parfois excessives et imprévisibles des autres usagers en interaction avec la navette autonome, engendrent un sentiment d'insécurité. Nombreux sont ceux à souligner la nécessité que la navette autonome puisse communiquer, d'une quelconque manière, sur ses actions, et sur la compréhension ou non de la situation dans laquelle elle évolue. Sans cela, les répondants déclarent être peu enclins à avoir confiance en la navette autonome, et continueront à adopter un comportement méfiant et prudent à sa rencontre, ainsi qu'être agacés par les situations gênantes provoquées par celle-ci.

# Synthèse

Les scénarios types observés par vidéo ont fait l'objet d'hypothèses comportementales des usagers et de la navette autonome, et ont été vérifiées par le biais de notre observatoire et par les réponses au questionnaire. Les hypothèses suivantes ont donc été vérifiées :

- La navette autonome crée une accumulation de véhicules derrière elle.
- Les véhicules derrière la navette autonome adaptent leur vitesse à elle.
- La navette autonome se fait dépasser.
- La navette autonome freine brusquement suite à un dépassement.
- La navette autonome freine ou ralentit brusquement, les véhicules derrière doivent s'adapter.
- Les piétons ont tendance à éviter d'entrer en interaction avec la navette autonome

L'environnement et l'infrastructure de la zone ont une influence sur les scénarios et sur les comportements de la navette et/ou des autres usagers qui ont été observés. D'une part par rapport au marquage au sol et des objets routiers qui permettent ou non un dépassement de la navette, d'autre part du fait de l'environnement global de la zone qui est une zone industrielle assez fréquentée, qui mène à des types d'interaction certainement très différents que dans des zones résidentielles ou urbaines, même si nous ne pouvons confirmer par la statistique cette hypothèse. En effet, lorsque le dépassement est possible, nous pouvons en observer de nombreux, notamment dans les lignes droites et les sorties de giratoire. En revanche, lorsque la signalisation et l'infrastructure rend les dépassements difficiles, ou interdits, on observe majoritairement des accumulations de véhicules derrière la navette, et donc un ralentissement du trafic et un engorgement des objets routiers comme les entrées de giratoire et de carrefour à feu.

La navette est source de ralentissements, et a une grande tendance à empêcher la fluidité du trafic. Nous avons observé que le phénomène est grandement amplifié selon l'heure qu'il est, notamment lors de l'heure de pointe de midi. La navette autonome est impliquée dans une moyenne de 56,39 interactions par jour, et dans une moyenne de 5 interactions par boucle effectuée. La majorité de ces interactions impliquent des VL et des PL, très peu impliquent des piétons, des 2RM ou des vélos. Les réponses aux questions ouvertes du questionnaire nous permettent de présumer que les usagers « vulnérables » ont tendance à éviter d'entrer en interaction avec la navette autonome.

On observe une situation dangereuse et récurrente, au niveau de l'arrêt de pose et de dépose des voyageurs de la navette autonome. Lorsque celui-ci est positionné en sortie proche du giratoire, cela engendre de nombreux dépassements de la navette à l'arrêt par des véhicules qui empiètent sur la voie d'en face de la bidirectionnelle dès leur sortie du giratoire, parfois les poussant à se rabattre en urgence à cause d'un véhicule qui arrive en face. La situation est accidentogène bien qu'aucun incident n'ait été observé.

Enfin, même si l'hypothèse selon laquelle les usagers « vulnérables », comme les piétons, les 2RM ou les vélos, ont tendance à éviter d'entrer en interaction avec la navette autonome n'est pas vérifiable rigoureusement par statistiques, les réponses ouvertes à l'enquête nous permettent d'avoir un début de réponse sur la question. En effet, il semblerait que ces usagers fassent preuve d'excès de prudence à la rencontre de la navette, et l'évitent tout simplement.

# Glossaire

2RM : Deux-Roues Motorisé.

Accumulation : Nous considérons l'accumulation à partir de 2 véhicules derrière la navette autonome.

C1 à 4 : Caméra 1 à 4.

Infrastructure : Ensemble des équipements routiers.

Interaction : Réaction réciproque lors de contact entre deux usagers.

Objet routier : Aménagement qui se rapporte à la route (axe, carrefour, giratoire, ligne droite, etc ...).

PL : Poids Lourd.

Scénario : Succession de situations liées les unes aux autres.

Situation : Ensemble des circonstances dans lesquelles les usagers se trouvent.

VA : Véhicule Autonome.

VL : Véhicule Léger.

# Enquête - Navette Autonome

## A. Questions générales

- A.1 Date du jour (jj/mm/aaaa) : \_\_\_\_\_
- A.2. Vous êtes :  Homme  Femme A.3. Age : \_\_\_\_\_
- A.4. Vous êtes détenteur d'un permis de conduire ?  
 oui  non Si oui, précisez lequel \_\_\_\_\_ depuis combien d'années ? \_\_\_\_\_
- A.5. Avez-vous déjà été en contact avec une navette autonome autre que celle du site de Bouguenais ?  
 oui  non Si oui, où ? \_\_\_\_\_

## B. Questions globales sur la Navette Autonome et vous

- B.1. En tant que piéton, cycliste, automobiliste, avez-vous déjà « interagi » / rencontré / croisé la route de la Navette Autonome expérimentée sur le site de Bouguenais ?  
 oui  non (si Non passez à la question C)
- Si oui, dans la situation de : (une seule réponse possible, situation la plus souvent rencontrée)
- traversée sur passage piéton
  - traversée en dehors d'un passage piétons
  - suivi et dépassement (en vélo ou en voiture)
  - en sortie de la piste cyclable
  - croisement (en voiture, en vélo)
  - circulation en voiture ou vélo (devant ou derrière la navette), sans dépassement
  - en cheminement en tant que piéton
  - autre (précisez) : \_\_\_\_\_
- B.2. Depuis le 15 février, combien de fois avez-vous été en contact avec cette navette autonome ? \_\_\_\_\_ fois (précisez) : \_\_\_\_\_

Les questions suivantes se rapportent à cette situation, la plus SOUVENT rencontrée

- B.3. Vous avez tout de suite perçu que vous étiez en présence d'une navette autonome (Entourez le numéro de votre choix)
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- B.4. Pour vous, le fait que ce soit une Navette Autonome a changé quelque chose dans l'action ou le comportement que vous avez eu dans la situation la plus souvent rencontrée
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Si votre action / comportement a été différent(e), décrivez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

- B.5. Votre action / comportement en présence de la navette aurait été différent(e) s'il s'était agi d'un bus ou d'un car conduit par un chauffeur
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Décrivez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

- B.6 Vous auriez agi différemment en présence d'une voiture
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |

- B.7. Vous auriez agi différemment en présence d'une moto
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |

En présence de la Navette Autonome, vous - en tant que piéton, cycliste, automobiliste :

- B.8. vous êtes vous senti(e) autant en sécurité que s'il s'était agi d'un bus ou un car ?
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |

- B.9. vous êtes vous senti(e) autant en sécurité que s'il s'était agi d'une voiture ?
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |

- B.10. Vous êtes vous senti(e) autant en sécurité que s'il s'était agi d'une moto ?
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |

- B.11. vous êtes vous senti(e) en danger
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Décrivez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

- B.12. Pour vous, la circulation de la Navette Autonome sur cet itinéraire améliore la sécurité des piétons, cyclistes, automobilistes
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Décrivez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

## C. Questions générales sur les navettes autonomes

- C.1. De manière générale, vous êtes favorable au déploiement des navettes et véhicules autonomes
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Décrivez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

- C.2. Pour vous, les navettes autonomes doivent être facilement identifiables
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Décrivez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

- C.3. Pour vous, les véhicules autonomes (voitures ou navettes) permettront de diminuer le nombre d'accidents et de tués sur les routes
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |
- Précisez en quoi s'il vous plaît \_\_\_\_\_

## D. Pour finir

- D.1. Êtes-vous utilisateur de nouvelles technologies (objets connectés, etc) ou de systèmes d'aides à la conduite : (plusieurs réponses possibles) ?

- En général
- aucun, aucune
  - assistant vocal
  - tondeuse robot
  - aspirateur robot
  - montre, bracelet connecté(e)
  - contrôle des éclairages
  - autre(s) (préciser) \_\_\_\_\_

- En voiture
- limiteur de vitesse
  - régulateur de vitesse
  - régulateur de vitesse adaptatif ou ACC (Adaptive Cruise Control)
  - aide au maintien dans la voie
  - caméra de recul
  - aide au stationnement (park assist)
  - avertisseur d'angle mort/aide au changement de voie
  - aide au freinage d'urgence (AFU)
  - freinage d'urgence automatique (front assist)

- D.2. Pour vous, des informations supplémentaires sont nécessaires pour savoir comment se comporte une navette autonome dans la circulation
- |                        |    |    |   |    |                        |    |  |  |  |
|------------------------|----|----|---|----|------------------------|----|--|--|--|
| ← Pas du tout d'accord |    |    |   |    | Tout à fait d'accord → |    |  |  |  |
| -3                     | -2 | -1 | 0 | +1 | +2                     | +3 |  |  |  |

- D.3 Avez-vous déjà utilisé la navette autonome
- oui  non

- D.4. Quelles étaient vos motivations pour monter à bord de cette navette ? \_\_\_\_\_

- D.5. Quelles ont été vos impressions ? \_\_\_\_\_

- D.6. Acceptez-vous de nous laisser vos coordonnées afin d'être recontacté ultérieurement pour vous poser des questions complémentaires ?
- oui  non

E-mail : \_\_\_\_\_  
 Téléphone : \_\_\_\_\_

Merci pour votre participation