

## Évaluation de l'expérimentation d'une navette autonome et d'une route photovoltaïque

Décembre 2019

Crédit photo : © Cerema



Partenaire de l'étude : Nantes Métropole



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement n°731297.

## Rapport d'étude du Cerema

# Évaluation de l'expérimentation d'une navette autonome et d'une route photovoltaïque

### Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	15/11/19	Initialisation du rapport
1	27/12/19	Rapport provisoire
2	20/01/20	Finalisation du rapport
3	25/03/20	Pise en compte des remarques de Nantes Métropole

### Affaire suivie par

<b>Guillaume COSTESEQUE</b> - Département Mobilités et Infrastructures – Groupe Sécurité et Optimisation des Déplacements
Tél. : 02 40 12 83 25
Courriel : <a href="mailto:guillaume.costeseque@cerema.fr">guillaume.costeseque@cerema.fr</a>
<b>Site de Nantes</b> : Cerema Ouest – MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 – 44262 NANTES cedex 02

### Références

N° d'affaire : C19OI0057

Maître d'ouvrage : Nantes Métropole (M. Gilles FARGE)

Devis n° D1OI0057-1 du 26/06/2019

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Guillaume Costeseque	27/12/19	
Avec la participation de	Marie-Amélie Horvath Chloé Eyssartier Peggy Subirats Nicolas De Rus Florence Rosey		
Contrôlé par	Anne Grégoire Pierre Le Bourhis	27/12/19 31/12/19	
Validé par	Marie-Amélie Horvath	08/04/2020	

### Résumé de l'étude :

Ce rapport présente l'expérimentation d'une navette autonome et d'une route photovoltaïque s'étant déroulée entre les mois de mars et mai 2019, sur une zone ouverte à la circulation générale, à proximité du site aéroportuaire de Nantes Atlantique. Les résultats de l'évaluation de cette expérimentation, sur les aspects fonctionnels, sécurité routière et acceptation sociale sont également présentés.

# SOMMAIRE

<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>6</b>
1.1 Contexte et objectif de l'étude.....	6
1.2 Contexte réglementaire relatif aux expérimentations de véhicules autonomes.....	7
1.3 État de l'art.....	8
1.4 Organisation du rapport.....	8
<b>2 DESCRIPTION DE L'EXPÉRIMENTATION.....</b>	<b>10</b>
2.1 Contexte de l'expérimentation.....	10
2.1.1 Historique.....	10
2.1.2 Consortium.....	10
2.1.3 Nantes City Lab.....	12
2.2 Présentation de la navette autonome.....	12
2.2.1 Le véhicule et ses capteurs.....	12
2.2.2 Modes de conduite.....	15
2.2.3 Opérateurs.....	15
2.2.4 Registre de bord.....	15
2.3 Première expérimentation.....	16
2.3.1 Contexte de la première expérimentation.....	16
2.3.2 Description du parcours.....	16
2.3.3 Description de la route photovoltaïque.....	17
2.3.4 Résultats de la première expérimentation.....	18
2.3.4.1 Marche à blanc de la navette.....	19
2.3.4.2 Sécurité de la navette.....	19
2.3.4.3 Communications entre la navette et l'infrastructure.....	19
2.3.4.4 Acceptation de la navette.....	20
2.3.4.5 Bilan de la route photovoltaïque.....	20
2.4 Objectifs de la deuxième expérimentation.....	20
2.5 Présentation du site de la deuxième expérimentation.....	21
2.5.1 Points singuliers.....	21
2.5.2 Vitesses par tronçon.....	24
2.6 Adaptation de l'infrastructure.....	25
2.6.1 Limitations de vitesse.....	25
2.6.2 Création des arrêts.....	26
2.6.3 Aménagement d'intersections sur la rue de l'Halbrane.....	26
2.6.3.1 Mini-giratoire.....	26
2.6.3.2 Cédez-le-passage.....	27
2.6.3.3 Feu de signalisation.....	27
2.6.4 Régulation du stationnement sur accotement.....	29
2.6.5 Aide au positionnement de la navette.....	29

2.6.6	Signalisation horizontale et verticale.....	30
2.6.7	Gestion de la végétation à proximité de la voirie.....	31
2.6.8	Caméras aux arrêts.....	31
2.7	Route photovoltaïque.....	33
<b>3</b>	<b>ÉVALUATION.....</b>	<b>35</b>
3.1	Usage et fonctionnement technique de la navette.....	35
3.1.1	Période de marche à blanc.....	35
3.1.2	Fréquentation.....	36
3.1.3	Fonctionnement technique.....	36
3.1.3.1	Données fournies par Navya.....	36
3.1.3.2	Analyse de la main courante.....	36
3.1.4	Communication entre la navette et le contrôleur de feu.....	37
3.1.5	Comptages et détection automatique par caméra.....	37
3.2	Route photovoltaïque.....	37
3.3	Acceptabilité et acceptation de la navette par les usagers.....	38
3.3.1	Méthode.....	38
3.3.2	Population.....	39
3.3.3	Synthèse des résultats.....	39
3.4	Acceptabilité et acceptation de la navette par les opérateurs.....	42
3.5	Sécurité routière.....	43
3.5.1	Bilan des événements.....	43
3.5.2	Analyse des interactions entre la navette et les autres usagers.....	43
3.5.2.1	Méthodologie.....	43
3.5.2.2	Scénarios.....	45
3.5.2.3	Résultats.....	46
3.5.3	Perception.....	50
3.5.3.1	Méthodologie.....	50
3.5.3.2	Résultats.....	51
<b>4</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>52</b>

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte et objectif de l'étude

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.

Cette expérimentation s'inscrit dans le cadre du projet européen H2020 « mySMARTLife », la métropole de Nantes étant l'un des trois territoires démonstrateurs, au même titre que les villes d'Helsinki (Finlande) et d'Hambourg (Allemagne).

L'expérimentation de la navette autonome porte sur un itinéraire d'une longueur de 2,5 km, sur des voiries ouvertes à la circulation générale. La vitesse limite autorisée le long de l'itinéraire est de 30 km/h. La navette, modèle « Autonom Shuttle » de la société française NAVYA, entièrement électrique, peut transporter jusqu'à onze passagers assis à bord. Elle dessert trois arrêts fixes spécialement aménagés pour cette expérimentation. Le cas d'usage retenu est la desserte d'un Restaurant Inter-Entreprises (RIE), depuis le Technocampus Océan. L'expérimentation s'est déroulée du lundi au vendredi, de 11 h à 14h30, du 1<sup>er</sup> mars au 15 mai 2019. Il s'agissait d'un démonstrateur et cela ne constituait pas un service public de transport public en tant que tel. L'usage était gratuit pour les passagers.

Comme expliqué ci-après, la production d'énergie électrique par la route photovoltaïque devait compenser la consommation énergétique de la navette autonome. L'électricité produite n'était pas directement destinée à l'alimentation de la navette ; elle était directement réinjectée dans le réseau électrique.

Dans le cadre de ce projet, le Cerema a pour mission de réaliser l'évaluation de l'expérimentation de la navette autonome ainsi que de celle de la route photovoltaïque pour le compte de Nantes Métropole. L'étude porte sur plusieurs volets :

- la navette autonome d'une part, avec une attention particulière sur :
  - son usage et son fonctionnement technique ;
  - son acceptation par les usagers et les non-usagers de la navette ;
  - ses interactions avec les autres usagers de la voirie et son impact en termes de sécurité routière.
- la route photovoltaïque d'autre part, avec un intérêt pour l'évaluation de son fonctionnement technique et de sa production énergétique.

Le présent rapport a pour vocation de présenter l'expérimentation dans sa globalité et vise à synthétiser les résultats de l'évaluation portée par le Cerema.

## 1.2 Contexte réglementaire relatif aux expérimentations de véhicules autonomes

En France, les pouvoirs publics encouragent les expérimentations de véhicules autonomes afin d'appréhender ces nouveaux objets, car les retours d'expérience sont aujourd'hui peu nombreux.

Pour les collectivités locales et les opérateurs de transport, les objectifs d'une telle expérimentation sont multiples :

- Se familiariser avec ces véhicules innovants par leur utilisation expérimentale ;
- Identifier les avantages et les limites pour définir leurs domaines d'utilisation ;
- Connaître la perception que peuvent en avoir les voyageurs ;
- Analyser les interactions entre le véhicule autonome et les autres usagers, et identifier leurs impacts en matière de sécurité routière ;
- Tester l'acceptabilité sociale de tels véhicules.

L'enjeu est de comprendre comment ces objets innovants peuvent être intégrés dans une politique de mobilité. La SEMITAN souhaitait saisir l'opportunité pour évaluer la pertinence à terme de proposer cette offre en complément de l'offre du réseau Tan pour répondre à des besoins de transport sur une courte distance.

Pour faire circuler un véhicule à délégation de conduite sur voie publique, il est nécessaire d'obtenir une autorisation du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. L'autorisation précise les sections de voirie sur lesquelles le véhicule est autorisé à circuler, les fonctions de délégation de conduite qui peuvent être activées, la date de début et la durée pour laquelle l'expérimentation est autorisée.

Dans le cas d'une expérimentation sur des voies ouvertes à la circulation publique, le cadre d'autorisation de la circulation à des fins expérimentales d'un véhicule à délégation partielle ou totale de conduite (VDPTC) est défini par :

- l'article 8 de la convention sur la circulation routière de Vienne de 1968 (ONU)<sup>1</sup> ;
- la loi pour la transition énergétique pour la croissance verte (TECV) du 17 août 2015 ;
- l'ordonnance n°2016-1057 du 3 août 2016 relative à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques ;
- le décret 2018-211 du 28 mars 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques ;
- l'arrêté du 17 avril 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques ;
- ce cadre a été complété en avril 2019 par l'article 43 de la loi Plan d'action sur la croissance et la transformation des entreprises (PACTE). La Loi d'orientation des mobilités (LOM) adoptée le 19 novembre 2019 par le Parlement devrait se concrétiser dès 2020 par l'adoption d'une ordonnance favorisant les services de transport public par véhicules autonomes.

---

1 « Tout véhicule en mouvement ou tout ensemble de véhicules en mouvement doit avoir un conducteur. [...] Tout conducteur doit constamment avoir le contrôle de son véhicule ou pouvoir guider ses animaux. »  
Source : [https://treaties.un.org/doc/Treaties/1977/05/19770524%2000-13%20AM/Ch\\_XI\\_B\\_19.pdf](https://treaties.un.org/doc/Treaties/1977/05/19770524%2000-13%20AM/Ch_XI_B_19.pdf)

Le pétitionnaire remplit et envoie un dossier de demande d'autorisation d'expérimentation d'un ou plusieurs véhicules à délégation partielle ou totale de conduite. Ce dossier est transmis au groupe GISVA (groupe inter-services pour le véhicule autonome)<sup>2</sup> qui en assure l'instruction pour le compte de la Direction Générale des Infrastructures de Transport et de la Mer (DGITM) ainsi que de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire ainsi qu'à la Délégation à la Sécurité Routière (DSR) du Ministère de l'Intérieur. Le dossier doit comprendre :

- la description de l'expérimentation ;
- les conditions de l'expérimentation ;
- les caractéristiques du (des) véhicule(s) utilisé(s) ;
- la mise en œuvre ou non d'un service de transport ;
- la sécurité des personnes et des biens dans le périmètre de l'expérimentation ;
- la cybersécurité ;
- la consultation des acteurs (gestionnaires de voirie, autorités organisatrices de mobilités).

À son issue, l'expérimentation donne obligatoirement lieu à un bilan transmis au Ministère en charge des transports.

### 1.3 État de l'art

À notre connaissance, il n'existe pas de rapport public francophone d'expérimentation. Les seuls rapports d'évaluation sont mis uniquement à disposition des services instructeurs de l'État (DGITM, DSR). Il existe toutefois un rapport d'étude du Cerema proposant une vue synthétique des différents projets liés à la mobilité autonome, rapport réalisé en mars 2019<sup>3</sup>.

On notera toutefois cette absence de retour d'expérience alors qu'une des premières expérimentations de navettes autonomes en France remonte au projet « CityMobil2 » avec notamment la circulation de six navettes sur un site semi-ouvert à La Rochelle entre octobre 2014 et avril 2015<sup>4</sup>. Il est désormais intéressant de pouvoir capitaliser sur les expérimentations qui sont réalisées et en partager les enseignements auprès d'une plus large communauté. C'est notamment l'un des objectifs forts mis en place pour les lauréats de l'appel à projet national « Expérimentation du Véhicule Routier Autonome » (EVRA).

### 1.4 Organisation du rapport

La suite du rapport s'organise comme suit : en section 2, nous rappelons le contexte de l'expérimentation menée à Bouguenais au printemps 2019. Nous présentons en outre l'expérimentation de la navette et de la route photovoltaïque qui a été réalisée préalablement sur les quais de la Loire à Nantes dans un environnement totalement différent. Nous présentons également l'itinéraire parcouru par la navette ainsi que les

2 Source : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/vehicules-autonomes>

3 « Les expérimentations de véhicules autonomes : parangonnage et perspectives servicielles », rapport d'étude du Cerema, mars 2019. Disponible en ligne : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/vehicules-autonomes-quels-apports-termes-services-mobilite>

4 Source : <https://cordis.europa.eu/project/id/314190/reporting>

points singuliers qu'elle a été amenée à rencontrer lors de son parcours. Le dispositif de route photovoltaïque est également présenté. La section 3 détaille l'évaluation de l'expérimentation dans sa globalité et les résultats qui en sont issus. Les conclusions de l'expérimentation sont présentées en section 4.



## 2 Description de l'expérimentation

### 2.1 Contexte de l'expérimentation

#### 2.1.1 Historique

À l'automne 2017, un consortium d'entreprises composé de la SEMITAN, d'EDF, de Lacroix City, de l'entreprise Charier et du pôle ID4Car a proposé au Nantes City Lab de mener, pendant un an, une expérimentation d'une navette électrique autonome, triplement innovante, sur l'agglomération à compter d'avril 2018.

L'expérimentation s'appuie sur une triple autonomie :

- l'autonomie de conduite de la navette, qui est capable de se déplacer sans chauffeur malgré la présence d'un superviseur à bord ;
- l'autonomie énergétique grâce à l'expérimentation d'une route photovoltaïque qui permet de produire autant d'énergie que ce que consomme la navette ;
- l'autonomie de gestion et de détection de l'environnement permise par le dialogue entre la navette et les équipements de la route, ainsi que la détection automatisée de passagers aux stations d'arrêt de la navette.

La Métropole a approuvé ce projet de démonstrateur et a mis son territoire à disposition pour permettre à cette expérimentation de se confronter à un environnement réel. Pour Nantes Métropole, ce projet permet de tester un nouveau produit de transport, de se l'approprier en vue d'éventuellement l'ajouter dans les années à venir à son offre de transport public. Pour les entreprises du consortium, cette expérimentation vise à mettre en avant un savoir-faire technologique territorial. L'expérimentation est également l'occasion pour tous d'afficher une dynamique d'innovation et d'expérimentation sur le territoire.

#### 2.1.2 Consortium

Le consortium est composé de :

- Nantes Métropole est un établissement public de coopération intercommunale (EPCI) qui regroupe vingt-quatre communes centrées autour de la ville de Nantes, chef-lieu du département de Loire-Atlantique et préfecture de la région Pays de la Loire. La Métropole a pour mission l'organisation du développement durable du territoire.
- La SEMITAN est une société d'économie mixte en charge des transports publics de l'agglomération nantaise. Cette société est à capitaux publics (Nantes Métropole) et privés (Transdev) qui exploite en grande partie le réseau de transports en commun de l'agglomération nantaise sous le nom commercial « Tan » et sous contrat de délégation de service public pour le compte de Nantes Métropole. La

SEMITAN était pilote et mandataire du consortium. Elle louait la navette et ses accessoires (conteneur). En sa qualité d'exploitant, la SEMITAN est signataire de la demande d'autorisation auprès du Ministère en charge des transports.

- Électricité de France (EDF) est une entreprise française fournisseuse et productrice d'électricité, détenue à plus de 80 % par l'État français. Il s'agit du premier producteur et fournisseur d'énergie en France et en Europe. Leader mondial des énergies bas carbone, le groupe EDF rassemble tous les métiers de la production, du commerce et des réseaux d'électricité. En s'appuyant sur l'expertise de ses équipes, sa R&D et son ingénierie, son expérience d'exploitant industriel et l'accompagnement attentif de ses clients, EDF apporte des solutions compétitives qui concilient développement économique et préservation du climat. Dans le domaine de la mobilité électrique, EDF a mis en place une expérimentation de six navettes autonomes Navya « Arma » (ancienne dénomination des « Autonom Shuttles ») en mars 2016 sur le site de la centrale nucléaire de Civaux (Vienne), devenant ainsi le premier site industriel au monde doté de véhicules électriques et autonomes. EDF assurait les connexions entre l'approvisionnement en énergie et le réseau électrique.
- Lacroix City, filiale du Groupe Lacroix, est un groupe industriel concepteur de solutions dans la voirie intelligente à destination des collectivités et des entreprises. Lacroix City oriente, optimise et sécurise les flux de véhicules et de personnes. Acteur innovant de l'industrie française, Lacroix City s'appuie sur son savoir-faire acquis depuis plus de 70 ans pour concevoir, fabriquer et commercialiser des produits de trafic urbain et interurbain, éclairage public et signalisation routière.
- Charier est une entreprise de travaux publics familiale implantée dans le grand Ouest qui œuvre autour de cinq expertises métiers sur toute la France : les grands terrassements, les carrières et le recyclage des matériaux, les routes et travaux urbains, le génie civil et la déconstruction / désamiantage. L'entreprise est également active dans le domaine de la recherche et du développement avec plusieurs brevets déposés chaque année.
- ID4Car est un pôle de compétitivité créé par la loi des finances de 2005 pour fédérer sur le territoire Grand Ouest des entreprises, des établissements d'enseignement supérieur et des organismes de recherche publics ou privés des filières « véhicules » et « mobilités ». Il vise à accroître l'attractivité et la compétitivité des acteurs de son territoire par l'innovation, le business et l'industrie du futur. Il regroupe plus de 300 membres, a labellisés plus de 260 projets, a accompagnés quelque 130 idées business et propose une douzaine de formations. ID4Car a soutenu le montage des dossiers administratifs, la consolidation des éléments techniques et du dossier d'accréditation.
- Logiroad, start-up créée le 31 juillet 2012 par deux chercheurs issus de l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) et installée à Rezé, près de Nantes, apporte aux gestionnaires routiers des solutions aussi bien pour l'entretien de ses routes que pour son exploitation. Logiroad a vocation à être une société d'édition de logiciels d'aide à la décision dans le domaine de l'entretien et de l'exploitation des réseaux routiers.

### 2.1.3 Nantes City Lab

Le Nantes City Lab est un dispositif créé et mis en place par Nantes Métropole depuis 2017 afin de permettre à tout porteur de projet de pouvoir expérimenter ses innovations sur le territoire de la métropole nantaise. Il permet de transformer la ville en laboratoire urbain pour divers types de projets collaboratifs : voirie, bâtiments, espaces publics, mobiliers urbains, parcs et jardins. Il s'intéresse à la fabrication de la ville de demain, dans une collaboration et en co-construction entre grands groupes industriels, PME, startups, chercheurs, universités, écoles, associations, usagers et la collectivité territoriale. Le Nantes City Lab propose à la fois un terrain d'expérimentation mais également un accompagnement des projets avec une aide au montage, une facilitation des partenariats, un accompagnement éventuel pour la labellisation des projets mais pour la valorisation de ceux-ci.

Le groupement d'entreprises contenant initialement la SEMITAN, EDF, Lacroix, Charier et ID4CAR a adressé son projet d'expérimentation d'une navette autonome au Nantes City Lab qui a validé son intérêt en septembre 2017. Le lancement a été validé en décembre 2017 pour réaliser une expérimentation sur le territoire de la métropole nantaise.

## 2.2 Présentation de la navette autonome

À compter du second trimestre 2017, Navya s'est associé avec NeoT Capital (acronyme de « New Energy of Things », société internationale dédiée à l'investissement dans le domaine de la mobilité électrique et des énergies renouvelables) pour proposer une offre de service afin de permettre aux collectivités publiques et aux entreprises privées de tester des navettes autonomes, le(s) véhicule(s) étant mis à disposition par Navya avec une garantie d'assurance, un contrat de maintenance et un service de supervision<sup>5</sup>. C'est ainsi que la SEMITAN a pu contractualiser avec ces deux acteurs afin de pouvoir expérimenter une navette autonome Navya « Arma » / « Autonom Shuttle ».

### 2.2.1 Le véhicule et ses capteurs

Le modèle « Autonom Shuttle » de Navya, anciennement commercialisé sous le nom « Arma », est un véhicule électrique pouvant embarquer 15 passagers, dont 11 assis et 4 debout. La navette est conçue et fabriquée en France. Elle mesure 4,75 m de long pour 2,11 m de large et 2,65 m de haut. Elle pèse 2,4 tonnes à vide et son poids total à charge est de 3,45 tonnes. La navette peut rouler jusqu'à 25 km/h<sup>6</sup>. Celle-ci est dotée de batteries lithium-fer-phosphate (LiFePO4) d'une capacité de 16,5 à 33 kWh, dont la durée de charge est de 5 à 10 heures selon la puissance de la prise. Le moteur du véhicule est d'une puissance de 15 kW (25 kW en crête). Son autonomie moyenne annoncée par son constructeur est de 9 heures, soit une autonomie de parcours d'environ 170 km. La navette a deux roues motrices et quatre roues directrices, lui offrant un rayon de braquage de 4,5 m.

5 <https://navya.tech/navya-et-neot-capital-presentent-la-premiere-offre-de-service-de-mobilite-autonome-cle-en-main/>

6 Informations issues des données constructeur : <https://navya.tech/shuttle/>

Dans la plupart des situations, cette navette se veut entièrement autonome et ne nécessite pas de conducteur humain. En revanche, conformément à la législation en vigueur, un superviseur prend place à bord. Il a pour principal rôle d'assurer la sécurité du véhicule et des passagers ; il doit par exemple pouvoir reprendre le contrôle de la conduite à tout moment. Concernant son fonctionnement, la navette suit au centimètre près un itinéraire préprogrammé dont elle ne peut pas s'écarter automatiquement, à l'instar d'un transport guidé comme le tramway. En cas de présence d'un obstacle sur sa route prédéfinie, la navette s'arrête automatiquement et le superviseur à bord doit reprendre le contrôle de la conduite pour assurer le contournement de l'obstacle en mode manuel. La navette n'est pas apte à contourner seule l'obstacle. Dans son fonctionnement nominal, le véhicule scanne son environnement en permanence grâce à une série de capteurs. Elle compare ensuite ces données à son environnement normal cartographié préalablement et suit la position et le mouvement des objets qui l'entourent. La navette adapte sa vitesse selon les obstacles qu'elle peut rencontrer afin de garantir la sécurité de ses passagers. Une supervision de la navette est réalisée à distance par le poste de contrôle de Navya, basé à Lyon.

La navette autonome de Navya a ainsi la particularité d'être équipée d'une technologie multi-capteurs dernière génération capables de croiser des données (voir Figure 1). Cela couvre :

- Les capteurs Lidar, technologie de mesure de distance par laser, qui permettent une perception de l'extérieur en 2D et 3D, donnant les moyens de cartographier les lieux où se trouve la navette. La navette embarque deux lidars 360 degrés multi-couches et six lidars 180 degrés mono-couche.
- L'antenne de géo-positionnement satellitaire de type GPS RTK (« Global Positioning System with Real Time Kinematic ») d'une précision centimétrique et qui aide à préciser la position de la navette à tout moment grâce à une balise fixe de référence. La balise de référence a été installée par Dalkia, filiale à 100 % du groupe EDF, sur le site du Technocampus Océan de Bouguenais. Cette antenne émet des corrections de positionnement au format RTCM V3 avec une liaison radio ultra haute fréquence (UHF).
- L'odométrie, mesurant les déplacements et la vitesse des roues à l'aide d'encodeurs de roue et d'une centrale inertielle, qui contribue à la localisation du véhicule.
- Enfin, il y a la présence de caméras stéréovision à l'avant et à l'arrière du véhicule qui détectent et identifient les obstacles et permettent aussi d'analyser l'environnement de la navette.

Ce véhicule coûte à l'achat environ 220 000 € hors le prix de la maintenance.

En dehors de ses plages de fonctionnement, la navette était stockée dans un conteneur fourni par NeoT Capital, construit dans l'agglomération nantaise selon les prescriptions de Navya, permettant de recharger le véhicule, d'assurer la préservation des capteurs et de protéger la navette contre d'éventuels actes malveillants, de maintenir la température et de communiquer les données enregistrées au cours de la journée au PC de Navya.

Ce conteneur était placé au Nord de l'allée du Rayon Vert, sur la voie verte, juste après l'accès livraison du Technocampus Océan (voir Figure 4).

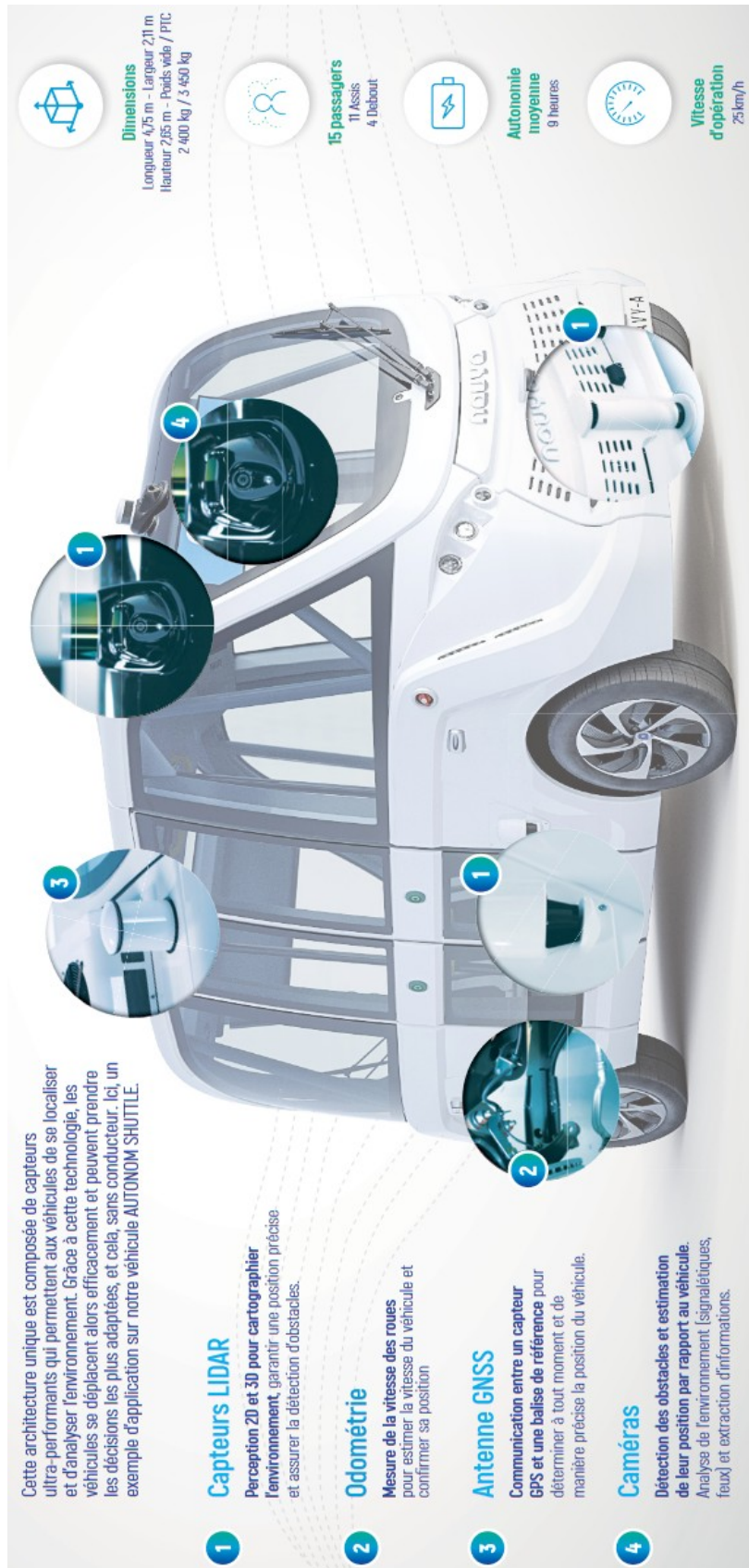


Figure 1: Présentation de la navette Nuvia (Source : brochure commerciale Nuvia [https://navya.tech/wp-content/uploads/documents/Brochure\\_Shuttle\\_FR.pdf](https://navya.tech/wp-content/uploads/documents/Brochure_Shuttle_FR.pdf))

## 2.2.2 Modes de conduite

Deux modes de conduite sont applicables :

- Le mode manuel sur lequel la navette démarre systématiquement. L'opérateur conduit la navette par l'intermédiaire d'un clavier ou d'une manette, entre son conteneur de stockage et l'itinéraire programmé. L'opérateur peut reprendre en main la conduite de la navette à n'importe quel moment, si nécessaire ;
- Le mode autonome, lorsque la navette est sur le parcours prédéfini. En cas de problème ou d'incident, l'opérateur appuie sur un des deux boutons d'arrêt d'urgence présents dans la navette.

Un premier voyage sans voyageur est opéré systématiquement tous les jours en début de service pour vérifier l'opérationnalité du tracé.

## 2.2.3 Opérateurs

Parmi les prérequis pour obtenir l'accord d'expérimentation de la part du Ministère en charge des Transports conjointement avec le Ministère de l'Intérieur (voir Section 1.2), il est demandé qu'un opérateur, situé à bord du véhicule ou pouvant être à l'extérieur de celui-ci, puisse prendre la main à tout moment sur le fonctionnement de la navette. Dans le cas de la navette Navya testée par le consortium à Nantes, un opérateur de la SEMITAN était toujours présent à bord. Outre les aspects de contrôle de la conduite, cette personne avait pour fonction l'accueil et l'information des passagers ainsi que le renseignement d'une main courante, à l'aide d'un registre de bord où étaient consignés les éventuels dysfonctionnements.

Cinq conducteurs de la SEMITAN titulaires du permis de conduire de type D, trois agents de maintenance et deux agents de maîtrise d'exploitation en charge du suivi terrain ont été formés par Navya au maniement de la navette, aux consignes de sécurité à appliquer et à l'information à transmettre au public accédant à la navette. À l'issue de cette formation, une attestation de formation validant leur aptitude à assurer la circulation de la navette leur a été remise. Chacun d'entre eux a effectué une journée de marche à blanc en duo.

Les opérateurs étaient équipés d'un téléphone portable pour la communication avec Navya et d'un téléphone portatif numérique pour la communication avec le poste de commande centralisée (PCC) de la SEMITAN. Un groupe privé « Whatsapp » a également été créé pour faciliter les communications entre tous les acteurs. Les opérateurs pouvaient également s'appuyer sur l'agent de maîtrise d'exploitation situé à différents points de l'itinéraire et parfois même en soutien à bord de la navette.

## 2.2.4 Registre de bord

Un registre était renseigné par l'opérateur à bord. Ce document permettait de consigner l'ensemble des événements relatifs à la circulation de la navette, comme :

- les conditions météorologiques notables (pluie, grêle, brouillard) ;

- les éventuels évènements durant le trajet comme les arrêts ou dysfonctionnements de la navette, les conflits avec d'autres usagers ou autres évènements ;
- le nombre de passagers transportés.

Sur la base de ces informations, un point journalier était réalisé entre les opérateurs et l'agent de maîtrise. Cela concernait également les impressions de l'opérateur sur la fluidité de son interaction avec les autres usagers de la route, l'impression des voyageurs, leur confort et leur sentiment de sécurité ou d'insécurité. Les rapports journaliers étaient ensuite analysés chaque semaine par une équipe pluridisciplinaire regroupant les services de Nantes Métropole, de la SEMITAN, de Navya et de Lacroix City.

S'agissant d'un démonstrateur, les passagers de la navette sont considérés comme des participants à l'expérimentation. Il leur est demandé de signer le registre de bord. Ils avaient également la possibilité de laisser leurs coordonnées afin d'être contactés pour les besoins d'évaluation.

## 2.3 Première expérimentation

### 2.3.1 Contexte de la première expérimentation

Dans un premier temps, la navette a été déployée entre le 1<sup>er</sup> et le 30 juin 2018 sur les quais de la Loire, quai Marquis d'Aiguillon et quai Ernest Renaud, à Nantes. La navette faisait la liaison entre l'arrêt de transport en commun « Gare Maritime » (station de tramway, arrêts de bus) et la Carrière Miséry où se déroulait un évènement « Complètement Nantes » accueillant de nombreux visiteurs. Il n'y avait que ces deux arrêts possibles. Le service offert était à la demande : les terminus étaient équipés d'un bouton d'appel pour prévenir l'opérateur de la présence de passagers à transporter.

Cette première expérimentation avait pour objectif de comprendre le fonctionnement de la navette et d'assembler les différentes briques de l'expérimentation (route photovoltaïque, navette, dispositifs de communication V2X<sup>7</sup> avec une barrière automatique) tout en maîtrisant la complexité de l'environnement. Ainsi, la navette circulait dans un milieu avec des interactions limitées avec les autres usagers : piétons, vélos et quelques véhicules motorisés.

Ce premier déploiement ne s'inscrivait pas dans le cadre du projet européen H2020 « mySMARTLife ».

### 2.3.2 Description du parcours

Elle fonctionnait du mardi au dimanche, sur les plages horaires 11h-13h et 14h-18h. La navette circulait sur un itinéraire de 660 mètres (soit 1,3 km aller-retour) séparé de la circulation générale (voir Figure 2 et Figure 3) mais partagé avec les piétons et les cyclistes.

---

7 L'acronyme V2X pour l'anglais « vehicle to everything », désigne les communications entre un véhicule et d'autres véhicules ou entre un véhicule et une infrastructure.

Sur une première section, la navette empruntait un couloir de 260 m qui était initialement dédié aux bus, aux cycles et aux taxis et qui a été neutralisé pour les besoins de l'expérimentation. Cette première partie de l'itinéraire était séparée de la circulation générale par des plots en béton à chaque extrémité et par des balises plastiques sur l'intégralité de la longueur.

La navette empruntait également une section du parking appartenant au siège du Grand Port maritime de Nantes – Saint-Nazaire où elle pouvait rencontrer d'autres véhicules, notamment des véhicules légers. Cette section d'une longueur de 400 m environ est une voie de statut privé. L'itinéraire de la navette est protégée par des plots type « légo » en béton. L'entrée sur le parking s'effectue par une barrière télécommandée qui a été équipée pour l'occasion d'une unité bord de route (UBR) afin de la rendre communicante avec la navette. Les informations échangées portent sur l'état de la barrière (ouverte ou fermée) et sur la localisation de la navette afin de déclencher l'ouverture de la barrière à l'approche de la navette.

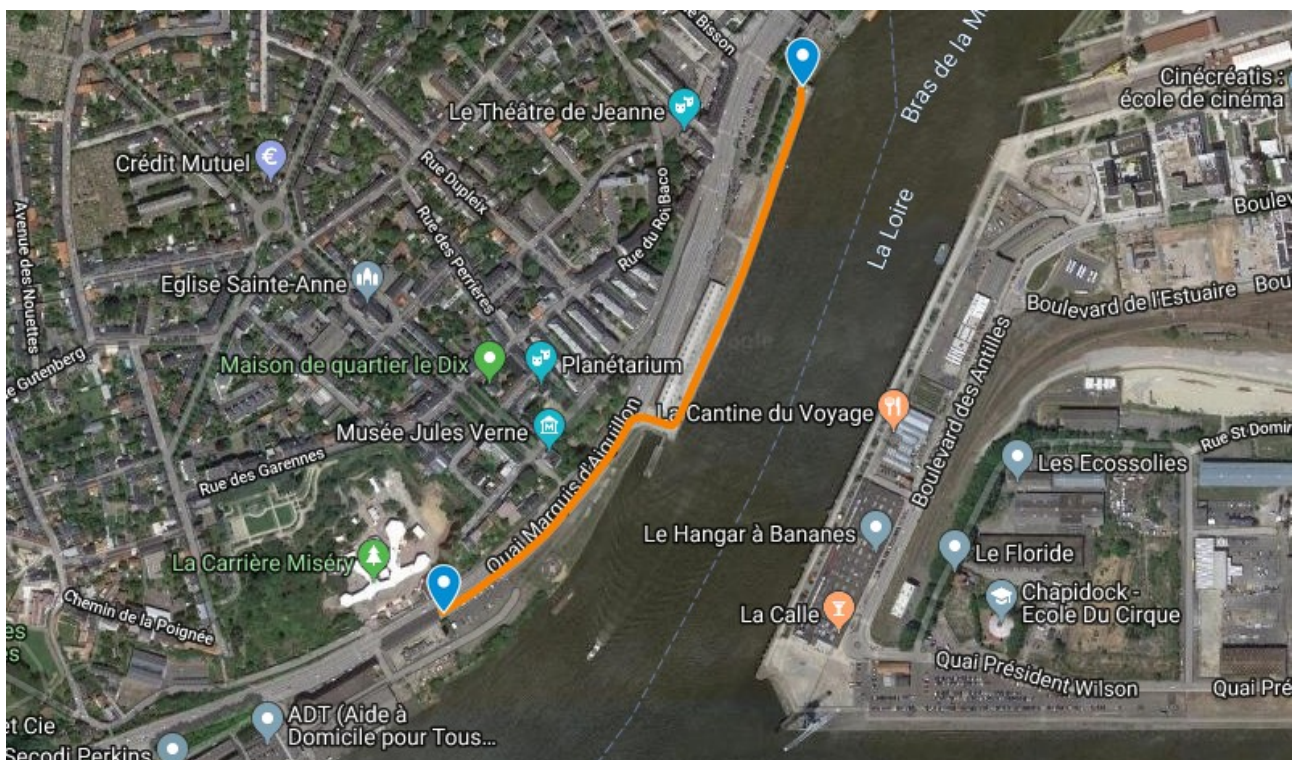


Figure 2: Schéma de l'itinéraire utilisé par la navette lors de la première expérimentation sur les quais de la Loire à Nantes

### 2.3.3 Description de la route photovoltaïque

Dans le cadre de l'expérimentation de la « triple autonomie » autour de la navette autonome, la société Charier a conçu, développé et testé une solution technique afin de produire de l'énergie photovoltaïque permettant de compenser la consommation électrique de la navette tout en valorisant la surface de certaines voiries. L'entreprise a



ainsi déposé la marque SOLIF®. Cette solution est présentée plus en détail dans la Section 2.7.

Lors de la première expérimentation, Charier a installé 34 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques à proximité de la Carrière Miséry (au Sud du parcours). Lors de ce premier test, les panneaux étaient collés sur la voie de circulation et étaient d'une géométrie adaptée à l'empattement de la navette : celle-ci enjambait les panneaux sans y rouler dessus (voir Figure 3).

L'énergie produite était réinjectée dans le réseau EDF via un onduleur, sans stockage sur batterie pour de l'auto-consommation.



Figure 3: Photo de la navette autonome et de la route photovoltaïque lors de la première expérimentation (Source : [https://www.charier.fr/images/innovation/innovation\\_envir\\_navette.jpg](https://www.charier.fr/images/innovation/innovation_envir_navette.jpg))

### 2.3.4 Résultats de la première expérimentation

Le Cerema n'était pas mobilisé pour réaliser l'évaluation de ce premier déploiement. Nous reprenons ici les éléments issus d'évaluation réalisée par la SEMITAN.

Ce premier déploiement a été une réussite : sur les vingt-six jours de fonctionnement de la navette, 1029 voyages ont été effectués pour une distance totale de 934 km parcours et 5255 voyageurs transportés, dont une journée avec plus de 800 passagers.

La vitesse moyenne de circulation de la navette était de près de 10 km/h (moyenne de 9,25 km/h précisément) avec une vitesse maximale de 12,5 km/h.

L'accueil du public a été excellent. La navette a montré sa capacité à circuler en toute sécurité.

#### **2.3.4.1 Marche à blanc de la navette**

Conformément à l'article 6 de la décision ministérielle d'autorisation d'expérimentation de la circulation de véhicule à délégation partielle ou totale de conduite n°2018-11 obtenue le 15 mai 2018, une marche à blanc a été réalisée. Il s'agit d'une période de test de la navette pendant laquelle le bon fonctionnement de la navette est évalué. Durant ces roulages, aucun passager n'est embarqué. Seuls les employés de la société SEMITAN sont autorisés à monter à bord du véhicule.

Dans le cadre de la première expérimentation, cette marche à blanc a duré seulement trois jours, soit du 29 au 31 mai 2018. Tous les superviseurs de la SEMITAN ont pu prendre en main la navette, sur l'ensemble du parcours défini à cette occasion et dans des conditions réelles d'exploitation. Un risque de conflit avec la circulation de cyclistes sur des parcours non autorisés a été identifié. Un renforcement des barrières permettant d'empêcher l'intrusion des deux-roues sur ces zones a été mis en œuvre. Aucun incident affectant la sécurité routière ni aucun incident affectant la cybersécurité n'a eu lieu au cours de la phase de marche à blanc de la navette.

#### **2.3.4.2 Sécurité de la navette**

Du point de vue de la sécurité, aucun incident corporel ou de sécurité routière n'est intervenu. Les interactions avec les autres usagers se sont bien déroulées, y compris avec les automobilistes sur la portion commune du parking du siège du Grand Port de Nantes – Saint-Nazaire.

Seuls quelques cyclistes n'ont pas respecté les itinéraires de déviation et se sont retrouvés face à la navette qui s'est automatiquement immobilisée.

Il est à noter qu'à plusieurs reprises, la navette a opéré des freinages d'urgence à cause de présence d'animaux (pigeon, chien) ainsi qu'en raison d'un morceau de carton déplacé par le vent. Des arrêts d'exploitation ont également eu lieu certains jours à cause de conditions météorologiques extrêmes, notamment de fortes pluies. Ces fortes pluies engendraient également la création d'ornières (entraînant notamment une exploitation en mode dégradé le 12 juin 2018) et la projection de boue sur les capteurs du véhicule.

Un seul incident matériel a eu lieu lors d'un passage de la navette au niveau de la barrière, le 22 juin 2018 à 16h40. En raison d'une bourrasque, la barrière s'est refermée alors que la navette passait. La navette s'est immédiatement immobilisée.

#### **2.3.4.3 Communications entre la navette et l'infrastructure**

Le groupe Lacroix City a déployé une infrastructure afin de permettre la communication entre la navette et la barrière automatique donnant accès à la section de l'itinéraire appartenant au Grand Port maritime de Nantes – Saint-Nazaire. Une unité bord de route (UBR) et des modules de communication V2X ont notamment été installés. Tous ces éléments ont permis de récupérer un grand nombre de données.

La durée (trop courte) de cette expérimentation n'a en revanche pas permis de déployer de systèmes de comptage automatique par caméras.

#### **2.3.4.4 Acceptation de la navette**

L'acceptation du public n'a pas été évaluée (seuls quelques usagers ont été interviewés à des fins de communication du projet) mais les opérateurs à bord ont relevé des retours très positifs sur l'expérimentation et leur expérience de déplacement.

De leur côté, les cinq opérateurs, tous agents de la SEMITAN et ayant spécialement reçu une formation de la part de Navya, ont également eu un retour positif de la manipulation de la navette et de leurs interactions avec les voyageurs.

#### **2.3.4.5 Bilan de la route photovoltaïque**

D'un point de vue énergétique, la consommation moyenne de la navette était de 0,5 kWh/km, soit une consommation globale sur la durée de test d'environ 470 kWh.

Cette première expérimentation a été une période riche en enseignements pour l'entreprise Charier qui a pu tester un prototype technique de sa route photovoltaïque. En raison de difficultés de mise en œuvre, 38 kWh ont été produits sur les 200 kWh attendus. Les difficultés rencontrées sont diverses : problème de collage des panneaux au sol, difficulté de mise à la terre, défaut d'étanchéité des boîtiers de raccordement et des conditions météorologiques dégradées avec de fortes précipitations.

Tous les retours d'expérience ont été mis à profit afin de mettre au point un nouveau prototype du produit SOLIF® qui a été testé lors de la seconde expérimentation (voir Section 2.7).

## **2.4 Objectifs de la deuxième expérimentation**

Dans le cadre de la seconde expérimentation, le cas d'usage retenu était la desserte d'un restaurant inter-entreprises du Domaine d'Activités Aéroportuaires (D2A). Ce parc d'activité est proche de l'aéroport Nantes Atlantique, des Technocampus Composites et Océan, de l'Institut de Recherche Technologique Jules Verne et des usines Airbus. La navette réalisait une boucle longue de 2,5 km sur route ouverte à la circulation générale, pendant la pause méridienne, du lundi au vendredi. Elle rencontrait successivement des traversées piétonnes, trois giratoires, un carrefour à feu et la fin d'une voie verte. Elle desservait au total trois arrêts spécialement aménagés pour l'occasion, pour prendre ou déposer des passagers (voir Figure 4). Il est intéressant de noter que cette zone soutient un important trafic poids lourds.

L'enjeu de cette expérimentation était d'évaluer le comportement de la navette en circulation générale, en présence d'autres usagers dont des véhicules légers (VL), des Poids Lourds (PL), des cyclistes et des piétons. Il était aussi intéressant d'évaluer l'acceptation sociétale de ce type de véhicules, notamment par les autres usagers de la voie.

Suite à la première expérimentation, une attention particulière était portée par Nantes Métropole quant à l'augmentation de la vitesse de circulation de la navette. Une vitesse maximale de fonctionnement de 25 km/h était ainsi visée, soit le double de la vitesse

maximale atteinte lors du premier test de la navette. Ce point a fait l'objet d'une demande de la part de Nantes Métropole auprès de Navya en octobre 2018, l' « Autonom Shuttle » étant logiciellement bridée par Navya à une vitesse de 18 km/h.

Il est intéressant de noter que tous les opérateurs de la SEMITAN ayant participé à la première expérimentation ont pu prendre part à ce second déploiement.

## 2.5 Présentation du site de la deuxième expérimentation

La navette a été déployée du 1<sup>er</sup> mars au 15 mai 2019 entre le Technocampus Océan et le restaurant interentreprises du D2A (Domaine d'Activités Aéroportuaires Nantes Atlantique), parc d'activité proche de l'aéroport, des Technocampus Composites et Océan, de l'IRT Jules Verne et des entreprises telles que Airbus, Daher et Naval Group. Le site d'expérimentation est situé sur les communes de Bouguenais et de Saint-Aignan de Grand Lieu, au Sud-Ouest de Nantes. La navette a fonctionné pendant la pause méridienne, sur une boucle de 2,5 kilomètres. Elle a roulé dans la circulation générale, ce qui constituait une première. Elle commençait sa tournée en effectuant le circuit sans prendre de passager. Ensuite, la navette prenait et déposait ses passagers à trois arrêts aménagés spécialement à cette occasion (voir Figure 4).

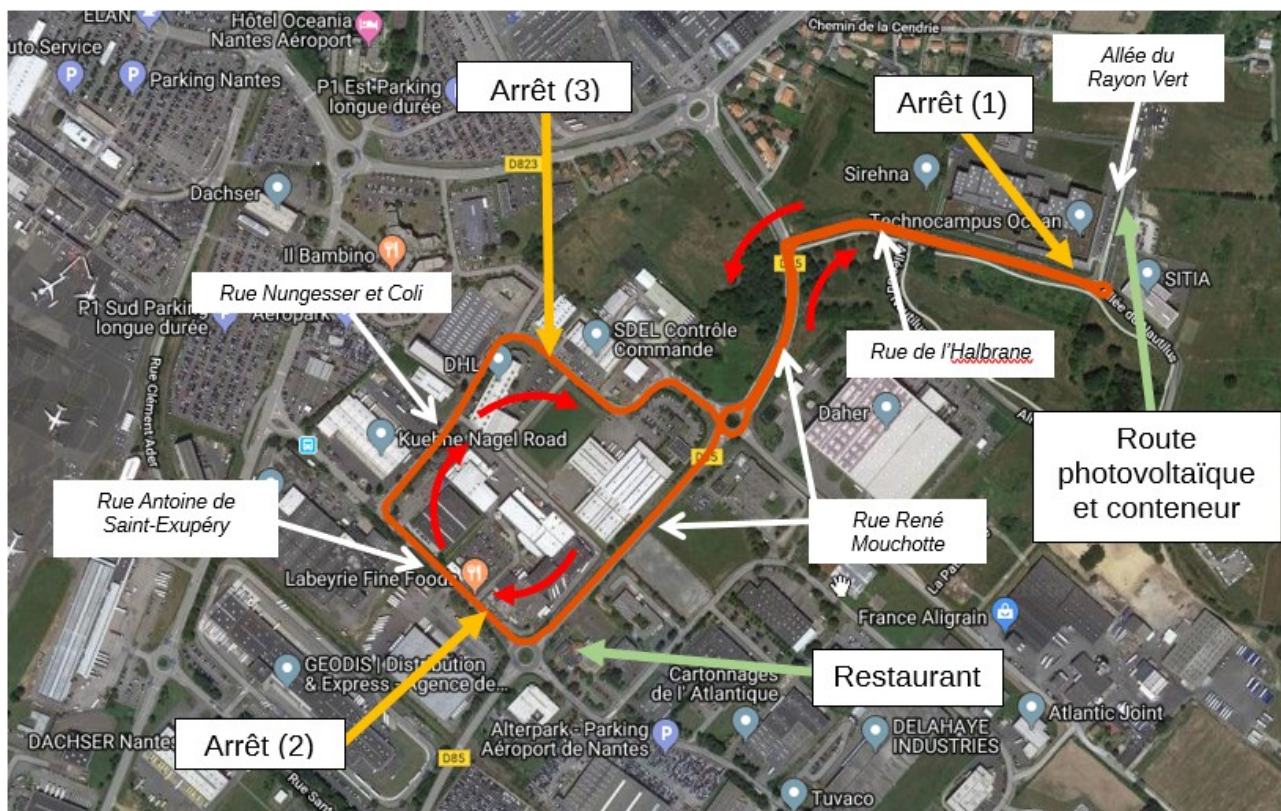


Figure 4: Itinéraire de la navette sur le site aéroportuaire de Bouguenais

### 2.5.1 Points singuliers

Lors de ce second déploiement, l'itinéraire de la navette l'amenait à traverser successivement des intersections de différents types (voir Figure 5) :

- Un mini giratoire franchissable sur la rue de l'Halbrane, à hauteur de l'extrémité Nord-Est de l'itinéraire, devant le Technocampus Océan ;
- Une intersection en « T » entre la rue de l'Halbrane et l'allée du Nautilus. La navette est positionnée sur la voie prioritaire (rue de l'Halbrane), l'autre voie (allée du Nautilus) étant régulée par un stop ;
- Un carrefour à feux à l'intersection de la rue René Mouchotte et de la rue de l'Halbrane. De plus amples informations sur la régulation de ce carrefour sont fournies en Section 2.6.3.3 ;
- Deux giratoires avec gestion par cédez-le-passage :
  - Le premier giratoire, positionné à l'intersection entre la rue René Mouchotte, la rue Nungesser et Coli ainsi que la rue Claire Roman, est traversé à deux reprises par la navette. La navette franchit des passages piétons et des couloirs vélos.
  - Le second giratoire, à l'intersection des rues René Mouchotte et Antoine de Saint Exupéry, n'est traversé qu'une seule fois par rotation de la navette. Le mouvement est un simple tourne-à-droite. La navette traverse deux passages piétons dont l'un dessert le restaurant inter-entreprises (voir Figure 6)). Il est intéressant de noter qu'il y a une traversée cycliste (pour le sens Nord-Sud) situé 60 mètres plus au Nord du giratoire numéro 2 (voir Figure 7).

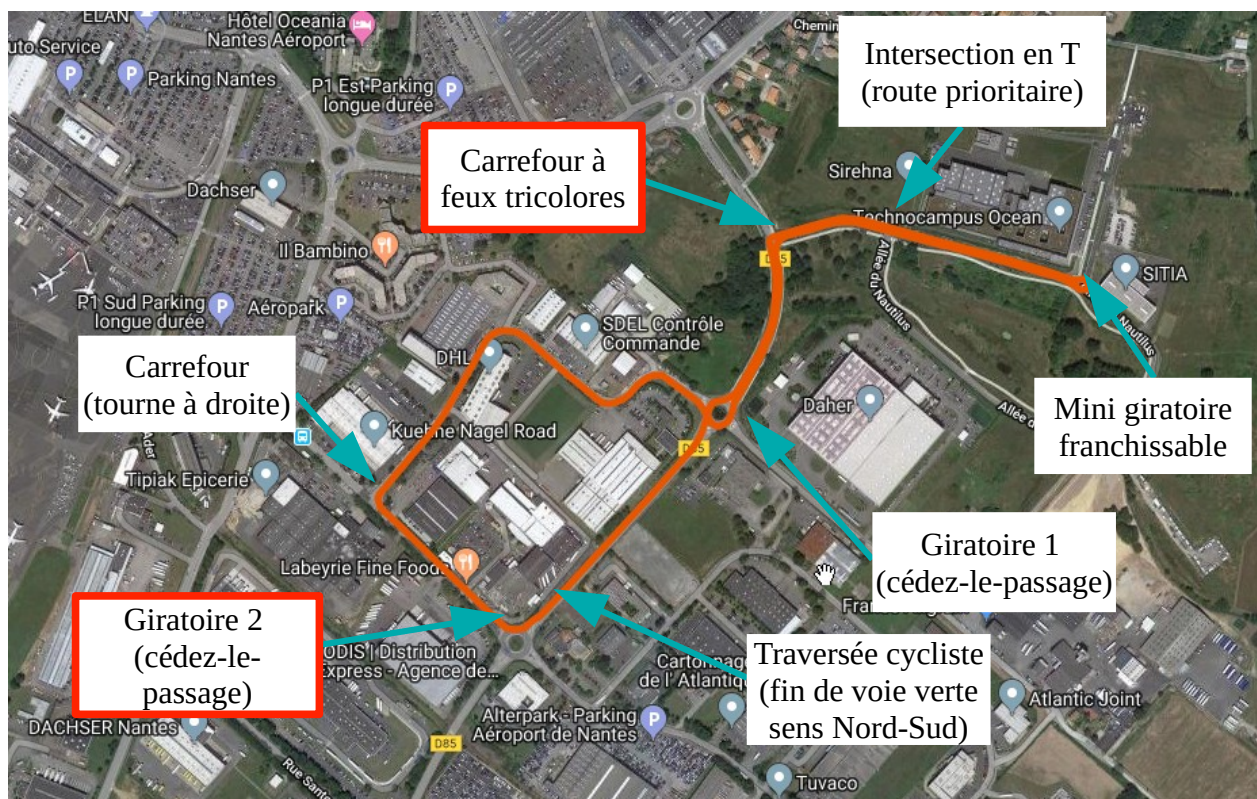


Figure 5: Typologie des intersections (Source : Google Maps)

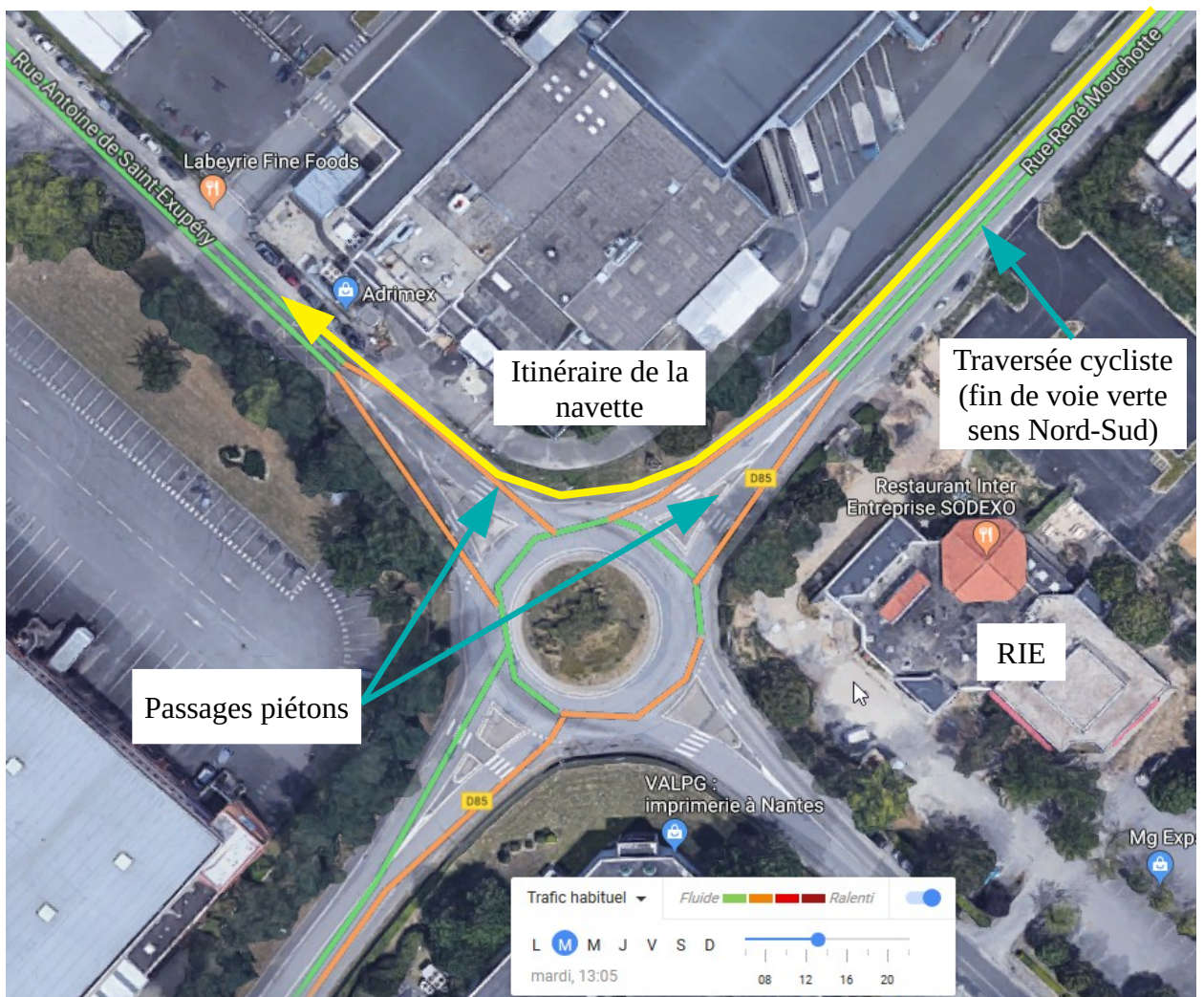


Figure 6: Conditions de trafic habituelles le mardi à 13h sur le giratoire 2 entre les rues René Mouchotte et Antoine de Saint-Exupéry [Source : Google trafic]



*Figure 7: Traversée cycliste sur la rue René Mouchotte (sens Sud-Nord) situé à 60 mètres au Nord du giratoire 2 [Source : Google Street View]*

## **2.5.2 Vitesses par tronçon**

Un des intérêts de cette seconde expérimentation pour le consortium était de faire circuler la navette autonome dans un environnement plus complexe à une vitesse de circulation supérieure à la première expérimentation.

Une vitesse maximale de 25 km/h était ainsi visée, soit le double de la vitesse maximale atteinte lors du premier test de la navette.

Ainsi, des profils de vitesse par tronçon avaient été définis sur l'itinéraire (voir Figure 8) et une demande a été adressée au constructeur Navya, afin qu'il puisse paramétrer l'algorithme du véhicule en conséquence.

Suite à la phase de marche à blanc effectuée au début de février 2019 (voir Section 3.1.1), ces vitesses ont été réduites afin d'assurer un arrêt d'urgence satisfaisant aux exigences de sécurité. La vitesse maximale de la navette a été fixée à 18 km/h.





Figure 8: Profil des vitesses souhaitées de la navette autonome (Source : SEMITAN)

## 2.6 Adaptation de l'infrastructure

Afin d'accueillir la navette en toute sécurité, il a été nécessaire d'apporter des modifications aux conditions de circulation et de stationnement le long de l'itinéraire. Ces mesures ont été prises en amont du déploiement de la navette, suite à des repérages effectués par l'entreprise Navya.

Hormis la régulation du stationnement le long de la rue Nungesser et Coli qui offre un cheminement piétonnier sécurisé pérenne, toutes les autres mesures ont été prises de façon temporaire et ont été supprimées à l'issue de l'expérimentation.

### 2.6.1 Limitations de vitesse

Le 14 janvier 2019, la vitesse autorisée sur les cinq tronçons de voies empruntées par la navette, a été abaissée de 50 km/h à 30 km/h pour l'ensemble du trafic de véhicules. En effet, il a été relevé des vitesses pratiquées très élevées sur la zone, notamment de la part des poids lourds. Cela n'était pas compatible avec la vitesse maximale de la navette et aurait pu s'avérer très dangereux pour l'expérimentation.

Bien que la question ait été soulevée, il n'a pas été jugé nécessaire de mettre en place de ralentisseurs pour faire respecter la nouvelle limitation de vitesse maximale.

## 2.6.2 Création des arrêts

Trois arrêts ont été spécialement aménagés pour accueillir les passagers de la navette (voir Figure 9) :

- Un premier arrêt situé face au Technocampus Océan, sur la rue de l'Halbrane ;
- Un autre arrêt situé à proximité du restaurant inter-entreprises, sur la rue de Saint-Exupéry. Cet arrêt était situé à quelques mètres de l'arrêt de bus existant ;
- Un troisième arrêt sur la rue Nungesser et Coli.

L'emplacement des arrêts a été pensé pour limiter les gênes de visibilité pour les autres usagers, notamment quant à la présence de piétons. Ces arrêts temporaires sont équipés d'un quai en bois et d'un accès pour les personnes à mobilité réduite. Des « zébras » bus réglementaires délimitaient la zone d'arrêt de la navette. Des abris démontables ont été apposés par la société JC Decaux.



Figure 9: Photos des arrêts Technocampus à gauche et Restaurant Inter-Entreprises à droite (Crédit : Nantes Métropole et Cerema)

## 2.6.3 Aménagement d'intersections sur la rue de l'Halbrane

### 2.6.3.1 Mini-giratoire

Un mini-giratoire franchissable a été créé sur la rue de l'Halbrane, à l'intersection avec l'allée du Rayon Vert face au Technocampus Océan, afin de matérialiser la zone de demi-tour et permettre le retournement de la navette vers sa station terminus.

### **2.6.3.2 Cédez-le-passage**

Un carrefour avec un cédez-le-passage a aussi été mis en place à l'intersection entre la rue de l'Halbrane et l'allée du Nautilus. La voie prioritaire est la rue de l'Halbrane où circulait la navette.

### **2.6.3.3 Feu de signalisation**

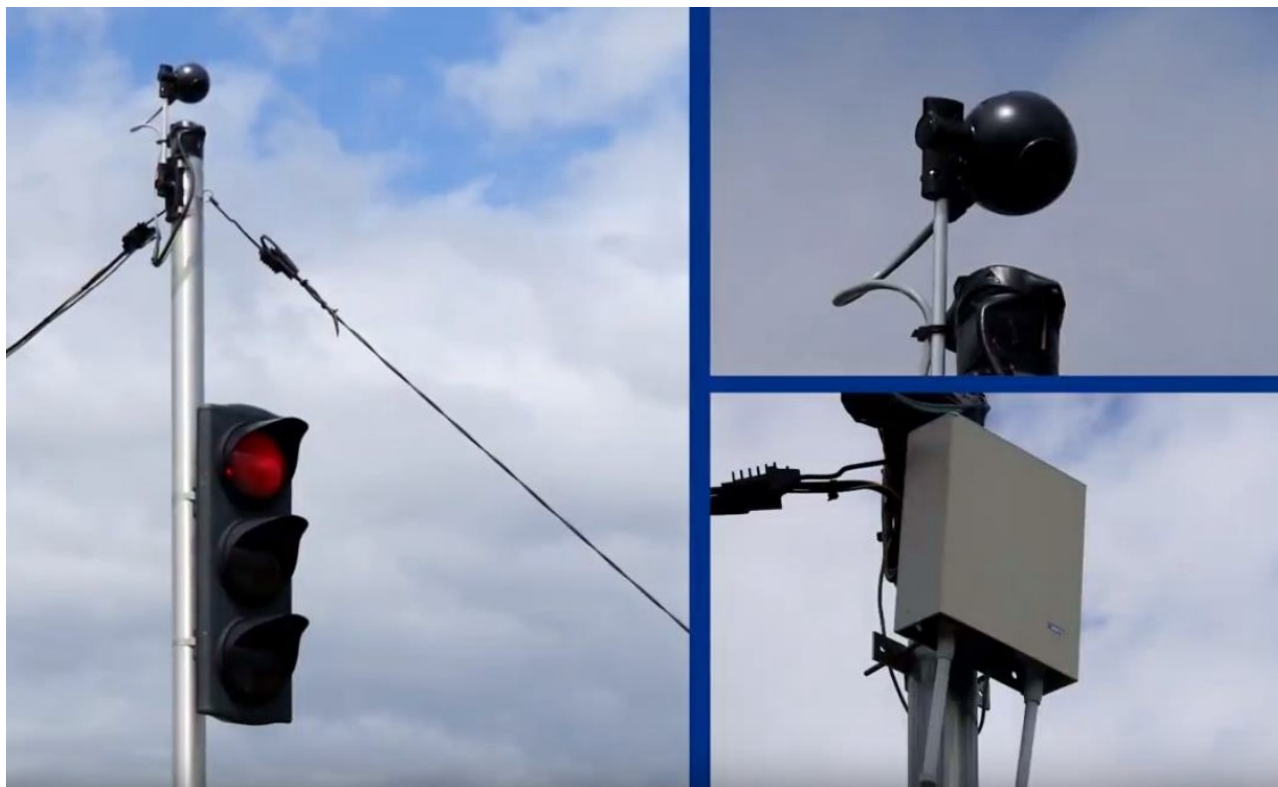
Le 6 décembre 2018, un carrefour à feux R11 avec feux piétons R12 a été aménagé au croisement de la rue de l'Halbrane et de la rue René Mouchotte, en remplacement d'un carrefour à stop. Comme indiqué dans la section précédente, la vitesse a été préalablement limitée à 50 km/h dans cette zone contre 70 km/h précédemment, puis réduite à 30 km/h pour les besoins de l'expérimentation.

Le groupe Lacroix City est intervenu afin de sécuriser la traversée par la navette d'un carrefour régulé par un feu tricolore, entre les rues de l'Halbrane et René Mouchotte. Pour cela, les équipes du groupe ont permis de fiabiliser la transmission d'informations sur l'état du feu (vert / orange / rouge) vers la navette autonome au moyen d'une unité bord de route (UBR).

L'unité bord de route est un boîtier équipé de deux antennes omnidirectionnelles permettant la captation de signaux dans les bandes de fréquence 5,8 GHz pour les applications V2X ainsi que deux récepteurs Bluetooth (versions 2 à 4) omnidirectionnels. Le boîtier dispose également d'antennes GPS et cellulaire (3G et 4G) intégrées. L'unité bord de route est accompagnée d'une interface web de configuration, d'une interface PKI (« Public Key Infrastructure » ou infrastructure cryptographique à clé publique pour la sécurisation des échanges informatiques), d'un accès distant par VPN.

La navette recevait les phases du feu afin d'adapter sa vitesse de circulation. Dans un premier temps, du 1<sup>er</sup> mars au 10 avril 2019, la navette ne recevait que cette information et devait adapter sa vitesse en conséquence. Le cas échéant, la navette était également informée en cas de défaut du feu.

Dans un second temps de l'expérimentation, du 11 avril au 15 mai 2019, l'information de localisation de la navette était également remontée au contrôleur de feu afin d'optimiser les priorités au croisement avec des actions possibles sur le phasage du feu. La navette n'était toutefois pas prioritaire et continuait à recevoir l'état du feu pour pouvoir s'y adapter.



*Figure 10: Photos du feu de trafic et de l'UBR (source : Lacroix City)*

Comme illustré sur la Figure 10, le feu de trafic a également été équipé d'une caméra afin de détecter la présence d'autres véhicules en attente au feu, sans nécessité d'installer une boucle de détection dans la chaussée.

L'unité bord de route a été installée provisoirement sur un petit mât, pour les besoins de l'expérimentation. Cette UBR avait une portée suffisante (voir Figure 11) de l'ordre de 150 mètres sur la route de l'Halbrane et de 200 à 250 mètres sur la rue René Mouchotte.

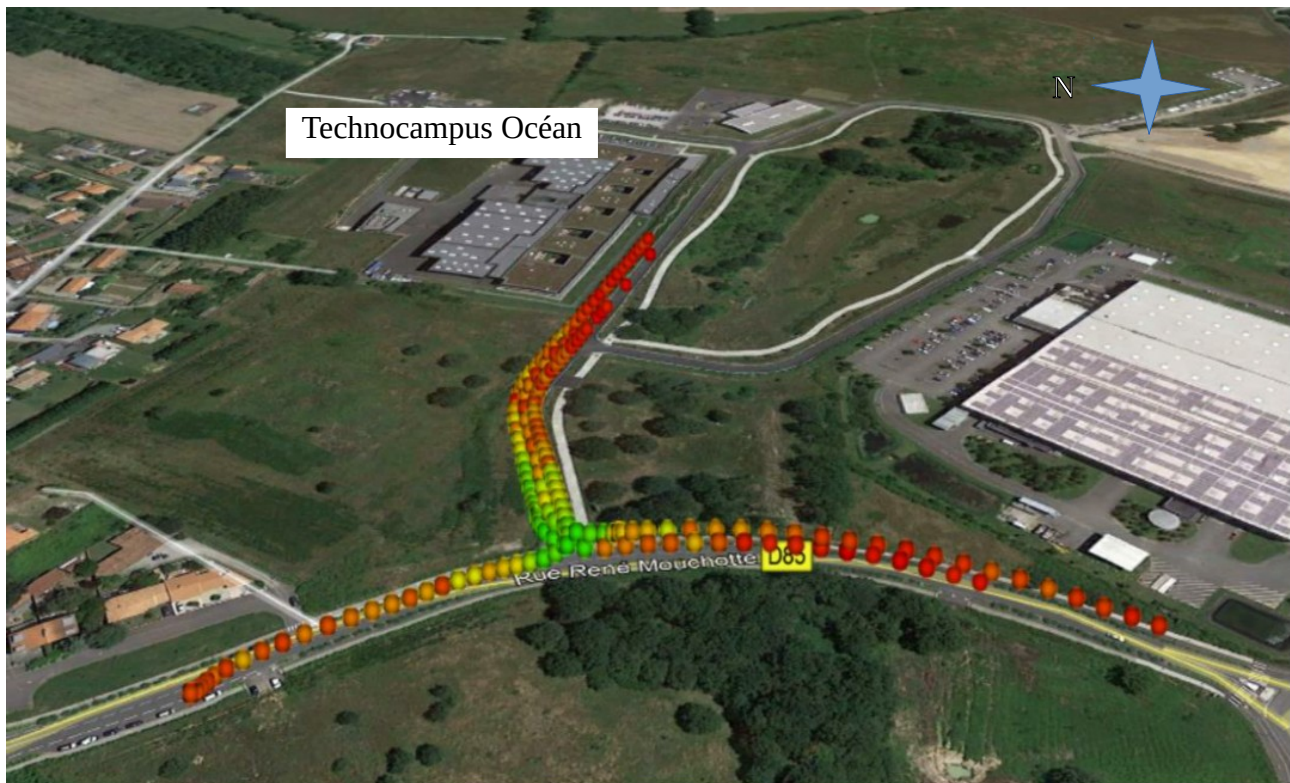


Figure 11: Test de portée de communication de l'UBR sur le contrôleur de feu (source : Lacroix City)

#### 2.6.4 Régulation du stationnement sur accotement

Des potelets en bois ont été implantés le long de trois tronçons de voirie de la rue Nungesser et Coli afin de réglementer le stationnement sur accotement. Cela couvre un total de 260 mètres de trottoirs bornés. Cette régulation vise à empêcher le stationnement de véhicules sur le trottoir. En effet, ces stationnements peuvent engendrer des arrêts de la navette si le véhicule en stationnement est détecté comme un obstacle sur la voie de circulation de la navette.

#### 2.6.5 Aide au positionnement de la navette

Afin de permettre à la navette de disposer d'un système redondant de positionnement, en cas de perte de signal GNSS, un total de trente-cinq kakemonos de 0,8 m par 2 m (voir Figure 12 et Figure 13) ont été installés sur des candélabres à certains endroits du parcours. Ces kakemonos sont des points que la navette peut identifier à l'aide de ses lidars sur les secteurs pour lesquels les surfaces bâties sont trop en retrait de la voie.



Figure 12: Photo d'un kakemono (Crédit : Cerema)



Figure 13: Photo de la navette et d'un kakemono sur la rue de l'Halbrane (Crédit : Cerema)

### 2.6.6 Signalisation horizontale et verticale

Un marquage axial discontinu a été mis en place sur les voies qui en étaient dépourvues. Ainsi, de la signalisation horizontale axiale a été créée tout au long de la rue Nungesser et Coli ainsi que le long de la rue de l'Halbrane. Ce marquage au sol permettait de différencier les axes de circulation et de faciliter le repérage pour la navette. Cela évitait également que des véhicules comme les poids lourds, ne dépassent sur la voie opposée où pouvait circuler la navette.

La signalisation axiale a été modifiée sur la rue Mouchotte et sur la rue Saint-Exupéry. Anticipant le risque d'impatience des véhicules roulant derrière la navette, il a été décidé de permettre aux autres usagers routiers de doubler la navette en modifiant la ligne continue en discontinue sur la rue Mouchotte, entre le giratoire avec la rue Nungesser et Coli et le giratoire avec la rue Saint-Exupéry. Suite à la phase de marche à blanc (voir Section 3.1.1), la ligne continue a été rétablie fin février 2019. En effet, les véhicules qui dépassaient, se rabattaient trop près de la navette, engendraient un freinage brusque de celle-ci et augmentaient les risques de collision arrière.

Outre la signalisation horizontale, des panneaux d'information ont été installés en entrée et en sortie de la zone d'expérimentation afin d'informer les autres usagers de la voirie de la présence de la navette autonome (voir Figure 14 et Figure 15).



Figure 14: Panneau d'entrée de zone d'expérimentation



Figure 15: Panneau de sortie de zone d'expérimentation

### 2.6.7 Gestion de la végétation à proximité de la voirie

Certaines branches ont dû être élaguées le long des rues Mouchotte, Nungesser et Coli ainsi que le long de la rue Saint-Exupéry, afin de dégager la visibilité des capteurs Lidar de la navette qui lui permettent de scanner son environnement en continu. De même, la végétation basse comme les haies ont été taillées en entretenues tout au long de l'expérimentation, pour qu'aucune branche ne dépasse sur le parcours de la navette. Il s'agissait de tailler la végétation à la verticale des bordures de trottoir ou d'élaguer des bouts de branches sur une hauteur de 4 m du sol.

### 2.6.8 Caméras aux arrêts

Lacroix City, en partenariat avec la société LOGIROAD, souhaitait :

1. Détecter la présence de potentiels passagers aux arrêts, afin de tendre vers un service automatisé de transport à la demande ;
2. Fournir des informations sur la fréquentation du véhicule autonome et les temps d'attente.

Pour cela, Lacroix City a installé des caméras Neavia de type EcoCam<sup>8</sup>, autonomes car alimentées sur panneaux solaires, à deux arrêts de la navette (arrêts Technocampus Océan et Restaurant Inter-Entreprises ; voir Figure 16 et Figure 17). Ces caméras avaient pour but de quantifier le nombre de personnes en attente. Il s'agissait également de calculer le nombre de personnes ayant emprunté la navette.

8 <https://www.lacroix-city.fr/activites/traffic/dispositif-connecte/ecocam/>

Les caméras ont été installées le 16 février et paramétrées le 6 mars 2019. Une phase d'apprentissage a été menée jusqu'à la fin du mois de mars.



Figure 16 : Photo de la caméra installée à l'arrêt Technocampus (source : Lacroix City)



Figure 17: Photo de la caméra installée à l'arrêt Restaurant Inter Entreprises (source : Lacroix City)

Les images issues des caméras étaient envoyées sur le serveur privé Lacroix LXConnect (dans le « cloud ») par une liaison 3G et/ou 4G où elles étaient stockées et traitées grâce à une application d'intelligence artificielle fournie par LOGIROAD. Les informations étaient également partagées en quelques secondes à l'opérateur SEMITAN situé à bord de la navette au moyen d'une application mobile « Smart Phone Caméra » sur sa tablette qui lui permettait une visualisation de la caméra et lui indiquait les informations suivantes :

- la présence de passagers en attente aux arrêts qui étaient identifiées par une zone délimitée par un abribus et un quai en bois (voir Figure 18 et Figure 19) ;
- le comptage de montées et descentes de la navette.

Le superviseur avait alors la possibilité de valider le comptage.



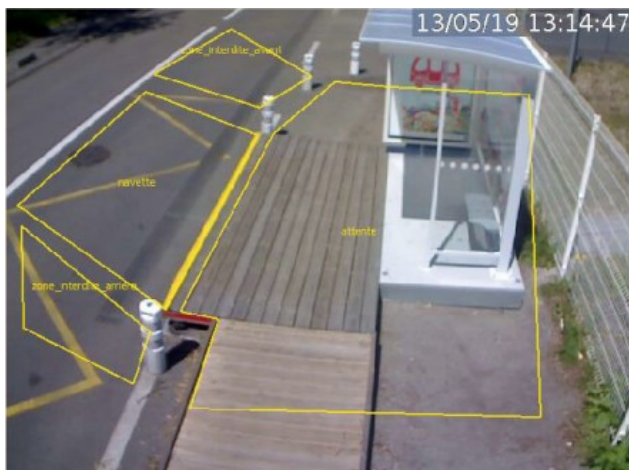


Figure 18: Illustration des zones de détections à l'arrêt RIE (source : Lacroix City)



Figure 19: Illustration des zones de détections à l'arrêt Technocampus (source : Lacroix City)

## 2.7 Route photovoltaïque

La solution technique, SOLIF®, repose sur l'emploi de panneaux photovoltaïques souples. Les panneaux sont constitués de cellules cristallines de la marque « SunPower » basées sur la technologie du silicium monocristallin. Ces modules sont plus onéreux que les cellules composées de silicium multi-cristallin, plus courantes, mais ils présentent un meilleur rendement de conversion de l'énergie lumineuse du soleil en énergie électrique (18 % environ contre 13 à 15 %<sup>9</sup>). Les panneaux ont une puissance normale d'environ 150 watts crête par mètre carré. Chaque panneau mesure 1,15 m de long par 0,8 m de large, soit une surface d'environ 1 m<sup>2</sup>, a une épaisseur de 4 mm hors collage et pèse 3 kg. Les panneaux peuvent avoir des géométries adaptées au projet et sont raccordés en série et/ou en parallèle en fonction de leur nombre et de la configuration du site de manière à respecter les tolérances en tension et en courant. Ces raccordements sont réalisés par un électricien agréé. Les panneaux sont conformes à l'indice de protection IP68, c'est-à-dire qu'ils sont étanches à la poussière et résistent contre une pénétration d'eau dans le cas d'une immersion prolongée.

La charge maximale supportable par les panneaux n'a pas été évaluée, mais ils n'ont pas vocation à supporter un trafic lourd. Ils sont davantage destinés pour des voiries douces comme les surfaces des trottoirs ou des pistes cyclables. A priori, un véhicule léger ou un engin d'entretien peut passer régulièrement sans endommager le revêtement bien que cela n'ait pas été testé dans la durée.

Les panneaux sont collés sur un support en enrobé ou en béton. Le choix de la colle dépend de la nature du support et de la nécessité éventuelle de pouvoir décoller les panneaux.

9 Données Ademe (septembre 2019) : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-electricite-solaire.pdf>

Le revêtement translucide apposé sur les panneaux assure une adhérence qui a pu être mesurée en laboratoire au pendule SRT<sup>10</sup> humide avec une valeur de 54, pour une exigence de Nantes Métropole de 45.

L'électricité produite est ré-injectée dans le réseau au moyen d'un onduleur permettant la transformation du courant continu produit par les panneaux en courant alternatif 220 V et 50 Hz.

Dans le cadre de cette seconde expérimentation, vingt-quatre panneaux ont été posés à Bouguenais, le long de l'allée du Rayon Vert, à proximité du Technocampus Océan (voir Figure 20). Comme précisé ci-dessus, les panneaux ont été installés sur une contre-allée où seuls les piétons et les cyclistes étaient autorisés. En particulier, la navette ne circulait pas sur cette voie.



Figure 20: Photos de la route photovoltaïque SOLIF® déployée à Bouguenais (Source : Cerema)

10 L'essai d'adhérence au pendule SRT (de l'anglais « Skid Resistance Tester ») est un essai normalisé au niveau international pour mesurer l'adhérence d'un matériau à partir d'un pendule oscillant muni d'un patin en caoutchouc à son extrémité libre.

## 3 Évaluation

### 3.1 Usage et fonctionnement technique de la navette

#### 3.1.1 Période de marche à blanc

Compte tenu du caractère sensible de cette expérimentation sur route ouverte à la circulation générale et conformément à l'article 6 de la décision ministérielle d'autorisation d'expérimentation n°2019-02, une période de marche à blanc s'est déroulée sur une durée de dix-huit jours, entre le 4 et le 28 février 2019. Comme pour la première expérimentation, il s'agissait d'une phase pendant laquelle la navette circulait sur l'itinéraire sans transporter de voyageurs autres que le personnel SEMITAN.

Cette période a permis la numérisation de l'itinéraire et de son environnement par un véhicule dédié de la société Navya. Ce véhicule était équipé de lidars plus performants que ceux de la navette. La marche à blanc a aussi été l'occasion de former les superviseurs sur l'itinéraire et dans des conditions de circulation habituelles. Elle a permis aussi de tester en situation réelle les interactions avec les autres usagers de la voirie (vélos, piétons, voitures, poids-lourds) et avec l'infrastructure (carrefour à feu) afin de dresser un premier bilan et de mettre en œuvre d'éventuelles actions correctrices avant la phase d'expérimentation auprès du public.

Concernant le carrefour à feu, il s'est avéré qu'en cas de carrefour fonctionnant en mode dégradé (feu clignotant), la navette s'engageait dans le carrefour sans respecter la priorité à droite, dans le sens tourne-à-gauche de la rue de l'Halbrane vers la rue René Mouchotte. Il a donc été décidé d'interrompre l'exploitation de la navette en cas de dysfonctionnement du feu.

Lors des cinq premiers jours de marche à blanc, les scénarios de vitesses par tronçon étaient également testés, avec différents paliers entre 10 et 20 km/h. Pour chaque scénario de vitesse, la procédure d'arrêt d'urgence en termes de trajectographie et de décélération était évaluée. Ces tests étaient effectués par Navya qui était le seul à pouvoir intervenir sur les paramètres de configuration de la navette.

À l'issue de ces essais, Navya a établi une cartographie de l'itinéraire avec :

- des zones à très faibles vitesses, entre 3,6 km/h et 5,4 km/h, à l'approche des arrêts, des rond-points et des zones de manœuvre ;
- des zones à faible vitesse, fixée à 7,2 km/h, à l'approche des passages piétons et des zones à très faibles vitesses ;
- des zones à vitesses intermédiaires, entre 9 et 11 km/h, pour la traversée des intersections dont le carrefour à feu ;
- des zones à vitesse supérieure fixée à 14,5 km/h pour les virages amples et les intersections avec tourne-à-droite sans danger ;

- des zones à vitesse élevée, soit 16,2 km/h, sur les courtes portions de lignes droites ou sur les zones de transition avant des zones à vitesses inférieures ;
- des zones à vitesse maximale, soit 18 km/h, pour les portions de grandes lignes droites, sans véhicules stationnés.

### 3.1.2 Fréquentation

La navette a circulé pendant 54 jours, du lundi au vendredi de 11 h à 14h30, à partir du vendredi 1<sup>er</sup> mars au mercredi 15 mai 2019. Elle a permis de transporter 847 voyageurs sur l'ensemble de cette période de fonctionnement. Ce chiffre est relativement plus modeste que lors de la première expérimentation, mais il est à relativiser du fait de la différence de cas d'usage.

La population transportée était également différente : lors de la première expérimentation, il s'agissait principalement de touristes. Dans cette seconde expérimentation, les personnes transportées étaient essentiellement du personnel des entreprises locales qui travaillent pour la plupart dans le milieu de l'innovation. L'effet de curiosité s'est estompé au fil du temps. La fréquentation est notamment plus forte sur la première moitié de l'expérimentation : 561 passagers ont utilisé la navette entre le 11 mars et le 14 avril 2019 pour 286 passagers entre le 15 avril et le 15 mars 2019.

La météo semble avoir un effet négligeable sur la fréquentation de la navette.

### 3.1.3 Fonctionnement technique

#### 3.1.3.1 Données fournies par Navya

La navette a parcouru environ 1020 kilomètres au cours de cette seconde expérimentation, ce qui correspond à plus de 400 boucles effectuées. Sur cette distance totale, près de 1000 kilomètres ont été parcourus par la navette en mode autonome, soit un taux de 98 % de roulage autonome.

La vitesse moyenne réalisée par la navette est de 7,8 km/h. Cette vitesse s'élève à 11,3 km/h hors arrêt. La vitesse maximum réalisée était de 19,3 km/h.

#### 3.1.3.2 Analyse de la main courante

Dans le registre de bord servant de « main courante », les opérateurs ont réalisé 347 saisies (une saisie pouvait couvrir plusieurs évènements) parmi lesquels les évènements suivants ont été relevés :

- 160 arrêts brusques de la navette autonome suite à un dépassement par un autre véhicule ;
- 8 problématiques de véhicules en mauvais stationnement qui ont entraîné la reprise de la conduite en mode manuel pour contourner l'obstacle ;
- 73 arrêts de la navette sans raison apparente mais pouvant s'expliquer par la présence de végétation ou par de fortes pluies.

En revanche, le franchissement des intersections n'a pas entraîné de difficultés notables. L'insertion dans les carrefours giratoires s'est toujours opérée en toute sécurité. Cette impression est complétée par l'analyse réalisée à partir de données vidéos (voir Section 3.5.2).

### **3.1.4 Communication entre la navette et le contrôleur de feu**

Aucune défaillance du système de communication n'a été relevée pendant l'expérimentation. Les opérateurs à bord de la navette n'ont constaté aucun incident lié à l'UBR.

Seul un incident lié au franchissement du feu rouge par un autre usager a été reporté pendant la phase de marche à blanc. Ce franchissement a demandé la reprise de la conduite en mode manuel puisque le feu est repassé au rouge sans que la navette n'ait eu le temps de franchir le feu.

Lors de la seconde phase de test, la navette a bénéficié systématiquement du feu vert lors de son arrivée et n'avait plus besoin de s'arrêter au feu.

La connectivité entre la navette et l'infrastructure apporte une réelle sécurité. La demande de priorité par la navette au passage du feu ajoute un avantage intéressant pour la navette et lui permet de gagner en vitesse commerciale en limitant les phases de freinage voire d'arrêt.

### **3.1.5 Comptages et détection automatique par caméra**

Le traitement des données permet la détection de la navette ainsi que la détection des passagers en attente, avec un temps de latence qui a pu être fortement réduit. En effet, ce temps de latence oscille entre 2 et 3 secondes. Cette détection paraît particulièrement intéressante pour la sécurisation des arrêts pour un véhicule sans chauffeur.

Concernant le comptage des passagers montant et descendant de la navette, des masquages mettent en évidence les difficultés de positionnement de la caméra. Il y a par ailleurs beaucoup de mouvements ainsi que des entrées-sorties qui sont difficiles à interpréter. En particulier, la difficulté du suivi des personnes amène à s'interroger parfois si c'est la même personne qui monte puis descend ou s'il s'agit de deux personnes distinctes.

La consommation de données en 3G (flux vidéos) a été estimée à 60 Go par mois.

Parmi les perspectives, la détection de personnes pourrait être étendue à des zones à risques comme les traversées piétonnes, afin d'en informer la navette.

## **3.2 Route photovoltaïque**

Les panneaux photovoltaïques installés par Charier ont connu quelques problèmes techniques :

- Seuls 10 des 24 panneaux ont pu produire correctement de l'énergie du fait de fuites électriques. Ces fuites sont dues à une limite de fonctionnement des

panneaux lorsqu'ils sont branchés en série. En effet, au maximum trois panneaux peuvent être connectés en série ;

- Sur les 10 panneaux fonctionnant correctement, seuls 8 panneaux ont réellement pu produire à partir de la mi-mars suite à l'arrachage de connexions électriques par un passage sauvage d'un véhicule motorisé de type quad.

Les relevés de production électrique fournis par Charier donnent une production totale de 284 kWh pour la route photovoltaïque sur le site de Bouguenais, répartis comme suit :

- 69 kWh pour le mois de mars
- 110 kWh pour le mois d'avril ;
- 105 kWh pour le mois de mai.

Cela donne une estimation de la production comprise entre 120 et 130 kWh/m<sup>2</sup>/an. Sur une année, les 8 panneaux réellement fonctionnels auraient aussi pu produire 1 057 kWh (3 171 kWh auraient pu être produits avec les 24 panneaux initialement installés).

Les compteurs ENEDIS donnent les informations suivantes :

- 434 kWh ont été injectés dans le réseau entre le 27/12/2018 et le 02/06/2019. Cela englobe la production d'électricité par la route photovoltaïque.
- 817 kWh ont été soutirés entre le 01/02/2019 et le 24/06/2019. Cela correspond notamment à la consommation du conteneur qui abritait la navette et lui permettait de se recharger.

La consommation de la navette pendant la période d'expérimentation n'est pas connue par Navya.

À partir des données dont nous disposons, nous pouvons supposer que la production réelle d'électricité n'a pas entièrement permis de compenser la consommation énergétique de la navette autonome.

### **3.3 Acceptabilité et acceptation de la navette par les usagers**

Ce volet de l'évaluation vise à étudier l'acceptation/acceptabilité de la navette autonome par les utilisateurs ou les non utilisateurs de celle-ci. Le rapport détaillé est fourni en annexe jointe. Ne sont ici repris que les principaux éléments.

#### **3.3.1 Méthode**

Un premier questionnaire a été distribué auprès des clients du Restaurant Inter-Entreprises (voir Section 3.5.3). L'opinion des usagers a été recueillie par le biais d'une question ouverte, à laquelle les répondants ont répondu par écrit, auprès de 64 usagers ou non de la navette. Les réponses fournies à cette question nous ont permis de construire un questionnaire qui a été diffusé aux entreprises du Technocampus Océan et aux passagers de la navette ayant accepté de communiquer leurs adresses électroniques.

Les dimensions étudiées reprennent celles de la revue de littérature présentée précédemment : le temps gagné comparativement au mode de déplacement utilisé

habituellement, le sentiment de sécurité, le nombre de places dans la navette, sa fiabilité, sa vitesse de déplacement, son impact sur le trafic, son utilité (son impact sur la sécurité sur la route en limitant les erreurs humaines), l'intérêt d'avoir un opérateur de bord ou le sentiment de sécurité qui en résulte éventuellement, l'utilisation de la navette par l'entourage professionnel. Pour chacun des items, les répondants devaient se positionner sur une échelle en 7 points allant de -3, pas du tout d'accord ou favorable ; à +3 tout à fait favorable ou d'accord selon les items (le questionnaire est en annexe).

Au total, 85 personnes ont participé à notre enquête en ligne d'avril à juin 2019, 25 qui n'ont pas pris la navette (les « non-usagers ») et 60 qui l'ont prise (les « usagers »).

### **3.3.2 Population**

Les usagers de la navette : 60 répondants sont déjà montés dans la navette. L'échantillon se compose de 14 femmes (23,3 % des répondants), 44 hommes (73,3 %) et 2 répondants n'ont pas répondu à cette question (3,3 %).

Les non usagers de la navette : 25 répondants ne sont pas montés dans la navette et ont tout de même répondu à ce questionnaire. L'échantillon se compose de 5 femmes (20 % des répondants), 19 hommes (76 %) et 1 répondant n'a pas répondu à cette question (4 %).

En termes d'âge, les usagers ont en moyenne 44,43 ans (écart type=11,23) et les non usagers ont 41,13 ans (écart type=9,74). La différence, en termes d'âge entre les deux populations étudiées, n'est pas statistiquement significative ( $F(1;81)=1,27$ , ns ;  $\eta^2=0,01$ ).

### **3.3.3 Synthèse des résultats**

Les usagers n'utilisent qu'occasionnellement la navette autonome. En somme, la mise en place de la navette n'a modifié que modérément les habitudes de déplacement des répondants.

Les avantages perçus sont essentiellement (voir Figure 21) le fait qu'elle est fiable, silencieuse et la présence d'un opérateur de bord sécurise bien qu'il ne soit pas jugé comme indispensable par les répondants. La navette est perçue comme ludique et a joué un rôle informatif sur ce qu'est un véhicule autonome.

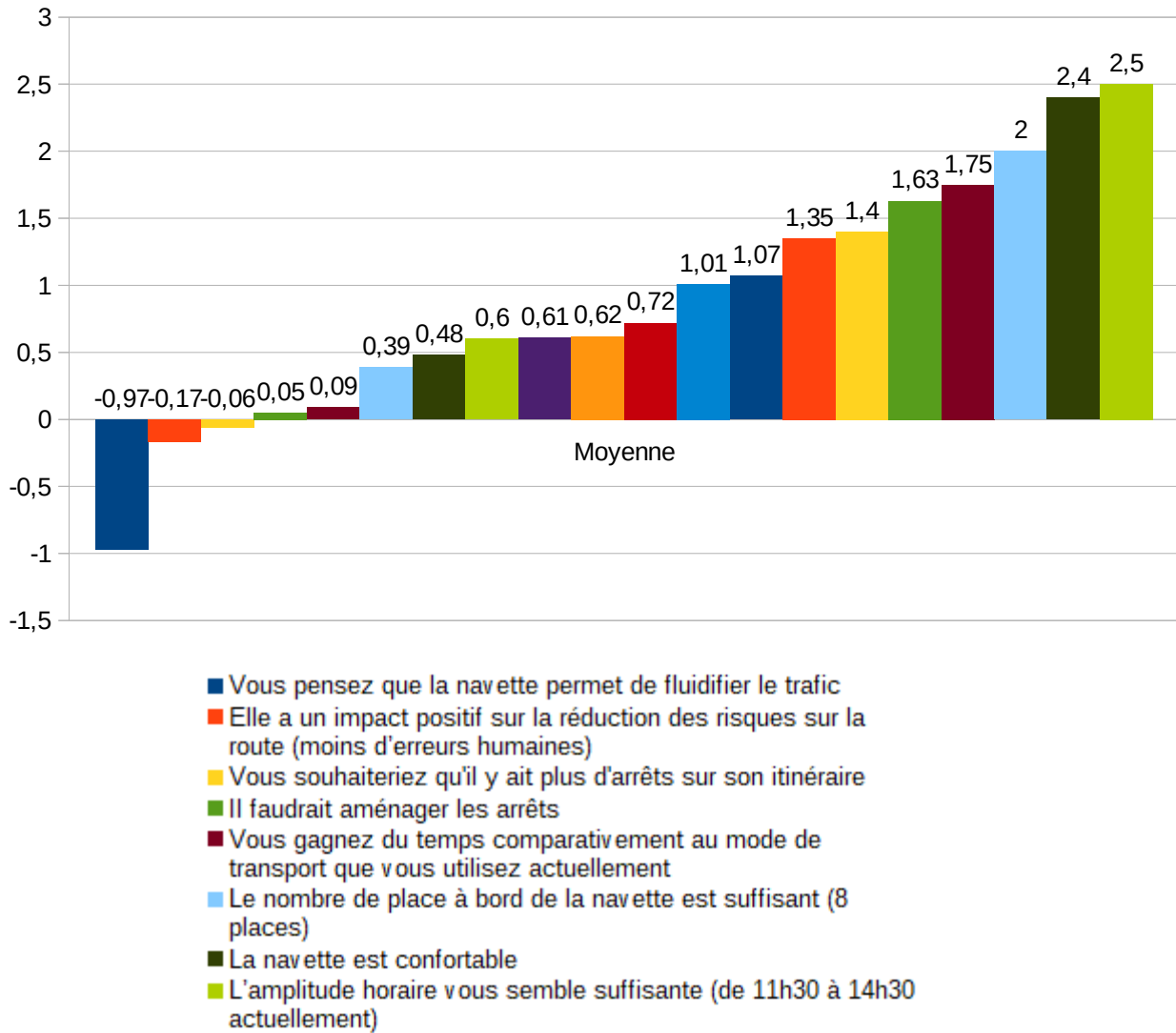


Figure 21: Attitude des usagers ; moyenne des réponses fournies par item (échelle en 7 points ; -3, pas du tout d'accord à +3, tout à fait d'accord)



Les non-usagers de la navette avancent comme argument pour leur non-utilisation de la navette, que (voir Figure 22) le temps de déplacement avec la navette est plus long qu'avec leur mode de déplacement habituel, qu'elle roule trop lentement. Toutefois, ils la trouvent silencieuse.

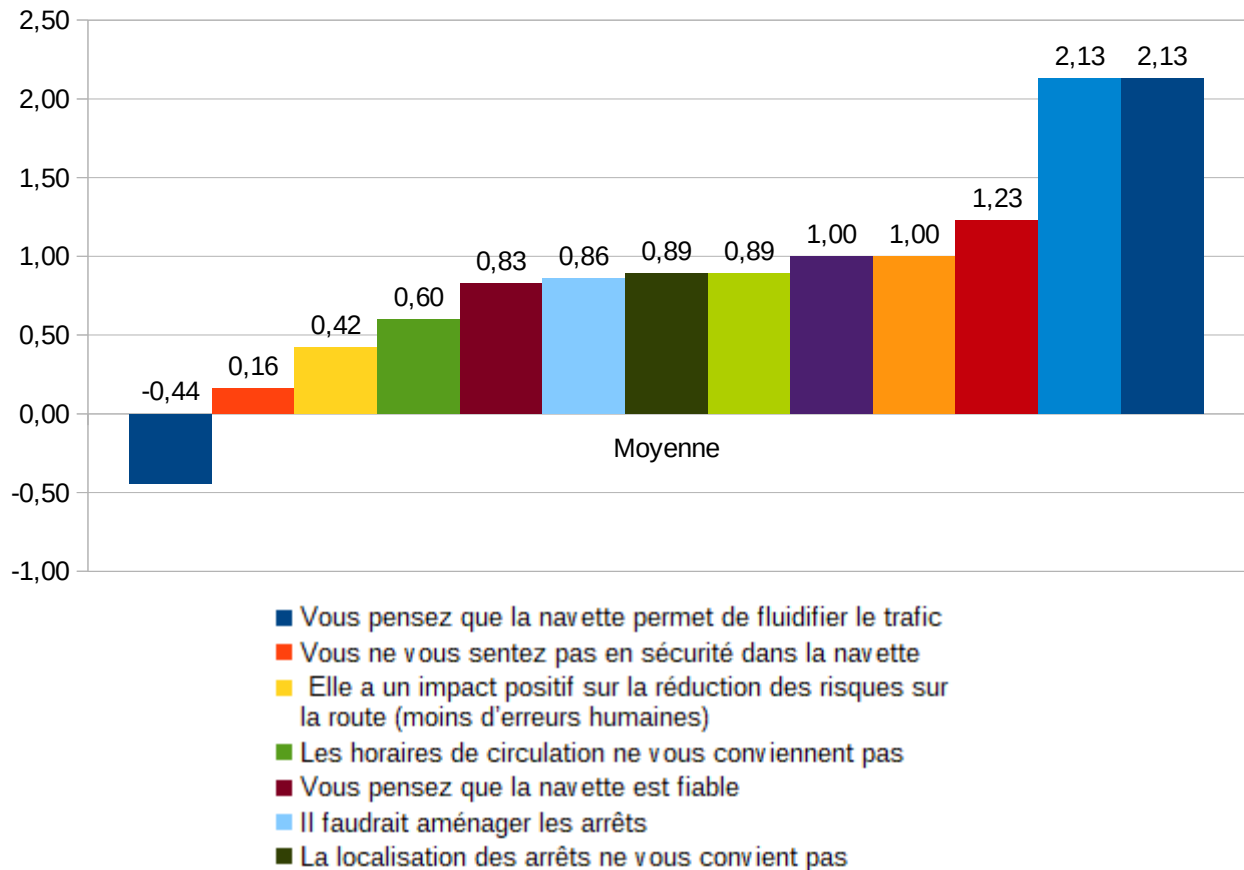


Figure 22: Attitudes des non-usagers ; moyenne des réponses fournies par item (échelle en 7 points ; -3, pas du tout d'accord à +3, tout à fait d'accord)

Lorsque l'on compare les deux sous-populations de répondants, on s'aperçoit que les répondants usagers de la navette ont une opinion plus favorable de la navette que ceux ne l'ayant pas utilisé toutefois cet écart n'est pas statistiquement significatif.

Cette différence se confirme sur les items suivants. Ainsi, les usagers de la navette, comparativement aux non-usagers, sont plus favorables avec l'idée qu'elle leur fait gagner du temps comparativement à leur mode de déplacement habituel, que l'on y sent en sécurité, que l'amplitude horaire est suffisante et le nombre de place est suffisant. On notera également l'importance de l'influence sociale, en somme du comportement des « proches ». Ainsi, les usagers favorables à la mesure sont plus nombreux à déclarer que leurs collègues ont déjà pris la navette.

L'impact de la navette sur la sécurité routière ne ressort pas de l'analyse, la comparaison entre les 2 catégories de répondants n'est pas significative. Toutefois, les répondants

considèrent dans une faible mesure que la navette puisse avoir un impact sur les risques sur la route, les scores sont négatifs mais restent compris entre -1 et 0 sur une échelle allant de -3 à +3.

Le fait d'être un usager de la navette n'a pas d'incidence sur l'opinion concernant les véhicules autonomes comparativement aux non-usagers. De même, cela ne joue pas sur l'attitude vis-à-vis des caméras orientées vers les arrêts de bus, aussi bien concernant le fait de se sentir surveillé ou sécurisé par ce type de dispositif. Là aussi, les scores moyens restent relativement neutres avec un score compris entre 0 et +1.

La principale limite de cette étude est que nous n'avons pas de données concernant la phase « acceptabilité » soit avant l'utilisation de la navette autonome pour les usagers de la navette. La difficulté qui en découle est que nous ne savons pas si les différences observées entre les usagers et les non-usagers sont dues au fait d'avoir été ou non un usager de la navette, en somme est-ce que le fait d'être monté dans la navette a modifié leurs opinions ? L'autre explication pourrait être qu'à la base, les usagers de la navette ont une attitude plus positive sur les items étudiés, ce qui pourrait les avoir amenés à utiliser ce mode de déplacement.

### **3.4 Acceptabilité et acceptation de la navette par les opérateurs**

Le ressenti des opérateurs de la SEMITAN a été recueilli lors d'entretiens individuels. Les opérateurs avaient déjà tous l'expérience de la manipulation de la navette autonome lors de la première expérimentation. Ils étaient donc familiers avec la navette. Ils intervenaient de 2 à 3 fois par semaine en moyenne sur l'expérimentation de la navette.

Ils exprimaient pour la plupart une certaine curiosité à découvrir une nouvelle technologie et de changer de leur travail de conduite habituel. Ils ont tous trouvé cette expérience très enrichissante. Parmi les points de satisfaction, ils ont apprécié le contact avec les passagers, bien que les relations aient été différentes entre la première et la seconde expérimentation. Ils se sont sentis acteurs de l'expérimentation, notamment en répondant aux sollicitations des usagers.

Ils ont aussi apprécié de s'informer sur les véhicules autonomes et ont été rassuré sur le positionnement de ce type de véhicule dans un service de transport public. Le métier de conducteur n'est pas amené à disparaître dans l'immédiat. La technologie manque encore de maturité et la présence des opérateurs à bord s'est avérée essentielle. Ces outils s'avèrent plus complémentaires aux services existants et peuvent simplifier la tâche de conduite. Tous les opérateurs évoquent qu'en l'état de la technologie, la circulation de la navette sur une voie dédiée serait plus adaptée.

Les opérateurs n'ont pas eu de difficulté à faire confiance et à déléguer l'acte de conduite à la machine. Cependant, ils ont ressenti un sentiment d'inconfort voire de stress lors de cette seconde expérimentation sur route ouverte, dans les cas suivants :

- le dépassement de la navette par d'autres usagers malgré l'interdiction matérialisée par la ligne blanche continue et entraînant des freinages brusques de la navette ;

- les mauvais stationnements de véhicules en bord de voirie (assez fréquent dans la zone aéroportuaire avec des camions en livraison), entraînant l'arrêt de la navette et la reprise de la conduite en mode manuel ;
- la présence des végétaux en bord de voirie qui ont pu être considérés comme des obstacles par la navette et ont généré des arrêts en amont.

Ces situations demandaient une hypervigilance de la part des opérateurs.

Les opérateurs sont partagés sur la question de la vitesse trop faible et sur les freinages trop brutaux. Augmenter la vitesse de croisière entraînerait des freinages encore plus brutaux. Une évolution du matériel est encore nécessaire pour une meilleure discrimination des différents types d'obstacles.

## **3.5 Sécurité routière**

### **3.5.1 Bilan des évènements**

Aucun accident affectant la sécurité routière n'est intervenu au cours de cette expérimentation. Aucun accident corporel n'est intervenu au cours de l'expérimentation. Aucune chute n'a été recensée. L'obligation de s'asseoir et de mettre une ceinture de sécurité s'est confirmée indispensable en raison des freinages brusques de la navette autonome à différentes occasions (dépassement par un autre véhicule, présence de végétaux, présence d'obstacles).

Aucun accident matériel n'est intervenu au cours de cette expérimentation.

Aucun incident affectant la cybersécurité ne s'est également produit.

### **3.5.2 Analyse des interactions entre la navette et les autres usagers**

Une analyse plus fine des situations de conflit a été réalisée à partir d'enregistrements vidéos par caméras placées à différents endroits du parcours, notamment au carrefour entre la rue de l'Halbrane et la rue René Mouchotte géré par des feux de trafic, ainsi qu'au rond-point face au RIE. Cette analyse complémentaire vise à distinguer les situations de conflits d'usage entre la navette et les autres usagers de la voirie comme les piétons, les cyclistes, les véhicules légers et les poids lourds circulant sur les axes de l'expérimentation.

Le rapport d'analyse détaillé est disponible en annexe jointe. Ne sont repris ici que les éléments principaux de synthèse.

#### **3.5.2.1 Méthodologie**

Le site aéroportuaire d'expérimentation de Bouguenais a été équipé de caméras, à quatre points d'observations, sur deux zones de recueil (voir Figure 23), 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.



Figure 23: Plan d'installation des Caméras en bord de voie (Source : Cerema)

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, également 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 le Cerema après avoir obtenu les autorisations nécessaires auprès des autorités locales.

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 h à 15 h, sur 4 caméras en simultané. 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 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.

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.

### **3.5.2.2 Scénarios**

Différents scénarios-types ont été observés par vidéo et ont fait l'objet d'hypothèses comportementales des usagers et de la navette autonome. Elles ont ensuite 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 :
  - 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-ci :
  - 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 leur comportement sont fréquentes.
- Les piétons ont tendance à éviter d'entrer en interaction avec la navette autonome.

### **3.5.2.3 Résultats**

Des scénarios spécifiques s'observent régulièrement (voir Tableau 1 et Tableau 2). 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 permettent 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.

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>

Tableau 1: Répartition des situations d'interactions par type d'objet routier



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>

Tableau 2: Compilation des interactions secondaires pour chaque interaction principale

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, le marquage au sol et le type d'objet routier permettent ou non un dépassement de la navette ;
- D'autre part, l'environnement global de la zone, à savoir une zone industrielle assez fréquentée, mène à des types d'interaction probablement très différents de celles que l'on observerait 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 giratoires et du 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 la période horaire, 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 implique des VL et des PL, très peu impliquent des piétons, des deux roues motorisées ou des vélos. Il semble 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 opposée dès leur sortie du giratoire, parfois les poussant à se rabattre en urgence car un véhicule 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 deux roues motorisées 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 (voir Section 3.5.3) nous permettent d'avoir un début de réponse à 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.

### **3.5.3 Perception**

#### **3.5.3.1 Méthodologie**

En complément des observations bord de voie par caméras (partie 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'est-à-dire mobilité à la demande) sont déployés sur le territoire. Ces expérimentations amènent pour la plupart à des modifications d'infrastructures (par exemple feux tricolores 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. La présente partie présente le contexte et les résultats du questionnaire.

Le questionnaire a été distribué auprès des clients du Restaurant Inter-Entreprises qui distribue environ 800 repas par jour. Une note d'information était également mise à disposition des participants afin de présenter le contexte et l'objectif du questionnaire. La distribution a été assurée sur la journée du 1<sup>er</sup> avril 2019 par trois membres de Nantes Métropole ainsi que par quatre enquêteurs du Cerema. Les clients du RIE étaient informés et accompagnés par les enquêteurs présents sur place de l'objectif du questionnaire et de la démarche à suivre. Le questionnaire était disponible sous format A3, placé sous forme de set de table, ainsi qu'en format A5, sous forme de livret. Quelle que soit la forme d'impression, les questionnaires étaient identiques. Une urne était située à la sortie du RIE et elle était destinée à recueillir les réponses des participants. Des livrets et l'urne ont été laissés sur place entre le 1<sup>er</sup> et le 5 avril 2019.

### **3.5.3.2 Résultats**

Au total, 199 personnes ont renseigné le questionnaire, 151 l'ont eu sous format A3 (set de table) et 48 sous format A5 (livret). Ce sont majoritairement des hommes (77 % des répondants), avec une moyenne d'âge de 41 ans. En majorité, les répondants sont des conducteurs expérimentés, possesseurs du permis de conduire depuis 23 ans en moyenne. En large majorité, les répondants sont des utilisateurs de nouvelles technologies dans leur quotidien ainsi que de technologies d'aide à la conduite.

Des résultats, il ressort que :

- plus d'un tiers des répondants déclarent qu'ils n'adoptent pas le même comportement selon qu'ils croisent la navette autonome ou un autre véhicule traditionnel (véhicule léger, poids-lourd, bus ou deux-roues motorisés) ;
- pour 25 % des répondants environ, la rencontre de la navette autonome entraîne une vigilance accrue, notamment en raison du manque d'habitude et de l'absence de contact visuel avec un conducteur humain ;
- 8 % des répondants ont ressenti un sentiment de danger lorsqu'ils ont rencontré la navette autonome, notamment en raison des réactions brusques et imprévisibles de la navette mais aussi des autres usagers face à la lenteur de la navette.

Cette méfiance est particulièrement importante pour les piétons qui privilégient l'évitement de la navette autonome.

Pour les automobilistes ayant rencontré la navette, celle-ci semble être une source d'agacement en raison de sa faible vitesse, de ses ralentissements et de ses freinages brusques. Cet agacement exprimé par le biais des questions ouvertes vient confirmer les comportements de certains automobilistes qui prennent la décision de dépasser la navette autonome dans des situations parfois dangereuses.

Une analyse détaillée des résultats est disponible dans l'annexe relative à l'étude de sécurité routière.

## 4 Conclusion

Le déploiement d'une navette autonome sur le domaine aéroportuaire Bouguenais, à proximité de Nantes, constituait une première en France, car elle s'effectuait sur route ouverte à la circulation générale. Jusqu'alors, les navettes autonomes étaient expérimentées dans des environnements plus simples, notamment sur des voies réservées et séparées des autres véhicules, où les aléas étaient davantage maîtrisables. En cela, l'expérimentation aura été riche d'enseignements pour les acteurs de celle-ci.

Globalement, cette seconde expérimentation s'est avérée positive. Afin de synthétiser l'évaluation de cette expérimentation, des éléments sont rappelés en regard des objectifs de la « triple autonomie » du projet :

- **l'autonomie de conduite** de la navette : ce déploiement a permis de tester les capacités de la navette à s'insérer dans un trafic général et à franchir différents types d'intersection à savoir trois giratoires et un carrefour à feu.
  - L'intervention de l'opérateur de bord n'a pas été requise pour la traversée des différents carrefours (giratoires et carrefour à feu). Ainsi, 98 % de la distance parcourue par la navette ont été effectués en totale autonomie.
  - En revanche, la faible vitesse de la navette a été source de plusieurs problèmes et d'inconfort pour les utilisateurs de la navette.
  - Par ailleurs, cette faible vitesse n'a pas été suffisamment bien acceptée par les autres usagers de la voirie. Cela a entraîné des comportements dangereux, avec le dépassement de la navette y compris sur des portions où cela était interdit. Ces comportements se sont avérés néfastes puisque les dépassements ont généré des arrêts brusques de la navette et donc encore davantage d'impatience parmi les usagers bloqués derrière la navette.
  - Parmi les autres points négatifs liés au comportement prudent de la navette, notons les arrêts dus à la végétation ou aux stationnements gênants et la nécessité de reprendre la conduite en mode manuel dans ces cas-là. Cela limite l'autonomie de conduite de la navette ;
- **l'autonomie énergétique** : lors de la seconde expérimentation sur le domaine aéroportuaire de Bouguenais, la route photovoltaïque aurait permis de produire autant d'énergie que ce qu'a consommé la navette si l'ensemble des panneaux installés avaient été fonctionnels. Cela est très encourageant. L'entreprise Charier a ainsi pu déposer un brevet pour sa solution et ambitionne de la commercialiser ;
- **l'autonomie de gestion et de détection de l'environnement** : cela a été effectif grâce au dialogue entre la navette et les équipements de la route, notamment pour le carrefour à feu. La détection et le comptage automatisé de passagers aux stations d'arrêt de la navette par caméras s'est avérée une piste intéressante à poursuivre et à améliorer.

Pour une utilisation généralisée de la navette au sein d'un service de transport public urbain régulier et sur route ouverte, la technologie bien que prometteuse doit encore gagner en maturité et en crédibilité. Les obstacles suivants ont notamment été relevés :

- L'insertion d'une navette autonome dans un trafic plus dense ou avec des vitesses de circulation plus élevées pose notamment question, du fait du comportement prudent de la navette et de sa faible vitesse maximale.
- Le déploiement de la navette a demandé de nombreuses adaptations de l'infrastructure. De plus, la nécessité de taille de la végétation a fortement sollicité les équipes techniques des gestionnaires routiers tout au long de l'expérimentation. Cela se justifie dans un contexte expérimental pour assurer les meilleures conditions de sécurité mais cela interroge sur un déploiement à plus grande échelle et sur de plus longues périodes de fonctionnement.
- La capacité de la navette à circuler à une vitesse plus élevée est un enjeu très important pour faciliter son acceptation par ses (potentiels) utilisateurs (notamment en termes de gain de temps de parcours par rapport à leur mode de transport habituel) comme pour les autres usagers de la voirie amenés à la rencontrer. Cela a été relevé par les usagers enquêtés ainsi que par les opérateurs à bord. Sans cette augmentation de vitesse de circulation, les usagers de la voirie pensent que la navette autonome serait plus pertinente sur des voies réservées, en dehors de la circulation générale.



**Cerema Ouest**

MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 NANTES Cedex 02

Tel : 02 40 12 83 01 – mel : DTerOuest@cerema.fr

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)