

**Évaluation du projet pilote de navette autonome et électrique : sécurité routière,
acceptabilité sociale et analyse des interactions entre les usagers de la route**

Projet R834.1

**Marie-Soleil Cloutier
Institut National de la Recherche Scientifique
Nicolas Saunier
Polytechnique Montréal**

**Réalisé pour le compte
du Ministère des Transports,
de la Société d'assurance automobile du Québec, et
de la Fondation CAA-Québec**

Mars 2021

La présente étude a été financée par :
Le ministère des Transport du Québec (projet R834.1)
La Société d'assurance automobile du Québec, et
La Fondation CAA-Québec
Mitacs (projet IT13592)

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions des partenaires

Collaborateurs

Wiem Bargaoui, stagiaire, Institut National de la Recherche Scientifique
Karima Bessai, stagiaire, Institut National de la Recherche Scientifique
Laurène Ryckebusch, stagiaire, Institut National de la Recherche Scientifique
Étienne Beauchamp, candidate à la maîtrise, Polytechnique Montréal

© Institut National de la Recherche Scientifique, 2021

Sommaire

Introduction et objectifs

Deux projets pilotes de navettes autonomes en circulation dans le réseau routier ont vu le jour dans les dernières années au Québec, l'un à Candiac (navette *Navya* et opérateur *Kéolis*) et l'autre à Montréal (navette *Easymile* et opérateur *Transdev*). Le présent projet s'inscrit dans une volonté de mieux comprendre l'acceptabilité sociale et la sécurité routière entourant la venue de ces navettes autonomes (et électriques), faisant suite à une volonté de la Fondation CAA-Québec, de la Société d'assurance automobile du Québec et du ministère des Transports d'évaluer ces projets-pilotes. C'est dans ce contexte que le présent mandat de recherche a été octroyé à la chercheuse Marie-Soleil Cloutier de l'INRS et Nicolas Saunier de Polytechnique Montréal. Les objectifs de ce projet de recherche se déclinent comme suit :

1. Connaître les perceptions et pratiques des usagers de la navette (projet-pilote) : expérience client, fréquence d'utilisation, potentiel de mobilité durable.
2. Documenter les comportements des usagers de la route (piétons, cyclistes, automobilistes), en présence de la navette automatisée sur le réseau routier par des observations directes et des vidéos.
3. Connaître les perceptions des riverains par rapport à l'arrivée des véhicules automatisés sur le réseau routier : partage de la route, respect du code de la sécurité routière, utilisation du service.
4. Proposer une grille des critères à prendre en considération lors de projets de véhicules automatisés sur le réseau routier.

Méthodologie

Pour le premier objectif, et afin de documenter *les perceptions et pratiques des usagers de la navette*, l'équipe de recherche a opté pour une enquête- terrain dans la navette à partir d'un questionnaire basé sur trois thèmes : *Modes de transport utilisés* avant la navette, *raisons pour utiliser la navette* et *expérience client de la navette* (horaire, confort, perception du risque d'incident ou de collision, etc.). La collecte de ces données n'a été faite que pour la navette de Montréal (dans Mercier- Hochelaga- Maisonneuve), en raison de l'absence de passagers dans celle de Candiac. Cinquante-trois utilisateurs de la navette ont répondu à notre questionnaire.

En ce qui concerne le deuxième objectif, qui est recueillir les *comportements des usagers de la route en présence de la navette automatisée* sur le réseau routier, l'équipe de recherche a installé des caméras (*GoPro*) sur des poteaux d'utilité publique à des lieux susceptibles d'interactions entre la navette et les autres usagers (intersections, entrée de commerce ou de bureaux) afin d'observer les trajectoires, comportements et interactions de tous les usagers de la route avec la navette et entre eux. Au final ce sont un peu plus de 85 heures de vidéos qui ont été enregistrées à Candiac (4 sites : environ 34h) et à Montréal (3 sites : environ 51 heures).

Pour le troisième objectif, et afin de collecter *les perceptions de la population par rapport à l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier*, nous avons opté pour une enquête par questionnaire sur place (le long du parcours de la navette à Montréal et à Candiac). Ce questionnaire est basé sur quatre thèmes principaux : *connaissance et perception du lieu, connaissance du projet- pilote, comportement en présence de la navette et perception de la population par rapport au projet*. Les répondants ont été plus nombreux à Candiac (n=133) qu'à Montréal (n=53).

Enfin, deux discussions de groupes ont eu lieu pour collecter plus d'information sur d'éventuels *critères d'acceptabilité sociale* pour les futurs projets de navettes automatisées sur le réseau routier. Un de ces groupes a eu lieu en dehors des sites (à l'INRS : 5 participants) et un 2^e s'est déroulé avec des personnes âgées à Candiac (4 participants).

Résultats

Les résultats en lien avec le premier objectif sont assez positifs. Tout d'abord, notons que les répondants dans la navette sont déjà des utilisateurs du transport en commun à 44%, similaire aux répondants de l'objectif 2 à Montréal (37%) mais très différents de ceux à Candiac, qui sont surtout automobilistes (71%). Ces utilisateurs de la navette l'ont emprunté surtout par curiosité (69%), mais aussi parce qu'elle était utile pour un de leur trajet dans le quartier, pour se rendre à la garderie ou à la piscine, en partance de la maison ou l'inverse. Pour ce qui est de leur expérience, seulement trois indicateurs sont synonymes d'insatisfaction : l'horaire du service, notamment en raison de ratés avec l'application mobile et la fréquence incertaine des navettes, et la faible vitesse de la navette, directement lié au 3^e point d'insatisfaction qui est la durée du trajet, trop longue. Ces trois points ont été aussi soulevés dans les discussions avec les utilisateurs en dehors des questionnaires. Les autres indicateurs comme la courtoisie de l'opérateur ou encore le sentiment de sécurité et de confort à bord étaient satisfaisants pour une grande majorité de répondants. De fait, la perception du risque de collision entre la navette et les autres usagers de la route était faible selon les répondants : moins de 13% d'entre eux estiment qu'il existe un « grand risque » de collisions.

Les résultats du second objectif illustrent aussi des points soulevés par les utilisateurs de la navette, notamment en ce qui a trait à la vitesse et aux accélérations : les moyennes tournent autour de 10 km/h pour la navette et plutôt de 20 à 30 km/h pour les véhicules « témoins » de nos extractions vidéos, avec des étendues de valeurs beaucoup plus grande pour les autres véhicules. Par ailleurs, l'analyse des différents indicateurs extraits des données vidéo confirment le comportement précautionneux des navettes comparé à des conducteurs humains. Concernant les interactions entre les usagers de la route, les temps inter-véhiculaires (TIV) indiquent que les conducteurs suivant une navette peuvent être plus près que lorsqu'ils suivent d'autres conducteurs, probablement à cause des vitesses plus faibles des navettes. Suivre des véhicules de trop près augmente le risque d'accident et démontre un comportement plus agressif de certains conducteurs par rapport à la navette. Les mesures de temps à la collision (TTC) et de temps post-empêtement (PET) indiquent que les véhicules automatisés ont des interactions

significativement plus sécuritaires que les conducteurs humains, y compris avec les usagers vulnérables aux sites où les données sont suffisamment abondantes. Ces résultats font écho aux propos recueillis lors des groupes de discussion où les participants nous ont mentionné avoir confiance à ce que tous les usagers de la route respectent les règles, voire soit plus prudent à l'approche d'une navette.

Les résultats du 3^e objectif porte sur les riverains questionnés sur le trajet des deux navettes, ceux-ci habitant le quartier à plus de 40%. Près des deux tiers des répondants connaissaient les projets-pilotes à Montréal ou à Candiac, soit par les médias ou encore pour avoir vu une navette sur la rue. Lorsque questionnés sur l'effet potentiel de la présence de ces navettes sur la sécurité routière des usagers, les répondants étaient partagés presque à part égale à environ 35-40% chacune entre affirmer que cela n'aurait aucun effet ou encore que ça améliorerait la situation, que ce soit pour les piétons, les automobilistes, mais un peu plus de répondants affirment que cela aggraverait la situation pour les cyclistes. Il n'y avait pas de différences entre les deux villes, sauf pour les répondants sans opinion, plus nombreux à Candiac (près de 20% à chaque question contre seulement 8% à Montréal). Pour ce qui est du respect des règles, les réponses demeurent semblable, sauf pour les répondants de Montréal qui estiment en plus grand nombre (25%-26% contre 9%-11% à Candiac) que la présence de la navette aggraverait la situation, c'est-à-dire qu'ils respecteraient moins les règles, que ce soit pour les piétons, les cyclistes ou les automobilistes.

Le 4^e objectif a été accompli en couplant différentes questions qui se retrouvaient dans plus d'une collecte. Cela nous a permis de dégager 5 critères à prendre en considération dans de futurs projets de navettes autonomes. Le premier porte sur la nécessité de bien informer les riverains et futurs usagers du projet et de ses composantes ; le second implique le choix du trajet et des arrêts et l'importance d'avoir des destinations tout au long de ce trajet pour assurer une utilité et ainsi une acceptabilité aux projets ; le troisième rappelle l'importance de bien répondre aux besoins des populations ciblées comme futurs usagers si on veut justement qu'ils adoptent l'utilisation des navettes ; le quatrième rappelle l'importance de la fréquence et de la fiabilité du service pour les futurs usagers et le dernier implique l'étude en continue des interactions entre la navette et les autres usagers, à la fois pour bien informer la population sur le niveau de sécurité de ces navettes mais aussi pour en promouvoir leur utilisation et informer les autres usagers de leur présence sur la route.

Synthèse des conclusions et recommandations

Une étude de cette envergure permet de dégager certains constats qui seront assurément utiles à nos partenaires pour les prochains projets de navettes automatisées au Québec. En ce sens, nous pouvons faire quatre constats à partir de nos travaux :

Nos résultats démontrent que ***l'acceptabilité sociale des navettes automatisées est bien présente***. Tout d'abord, la population interrogée des deux sites semble avoir adopté *l'acceptabilité a priori* : les répondants sont en majorité optimistes par rapport à la mobilité sans conducteur et y voient certains bénéfices lorsqu'on les interroge sur les effets potentiels des navettes automatisées. Certains de nos répondants ont aussi franchi le niveau *d'acceptation à l'usage* de la navette automatisée puisque les usagers interrogés ont tous soulevés des éléments positifs de leur expérience dans la navette, bien que certaines pistes d'amélioration aient aussi été suggérées. Notons en terminant que la courte échéance de ces deux projets-pilote ne permet pas de conclure à *l'appropriation à l'usage* de la navette par les usagers ou les riverains. Les répondants à nos collectes de données ont par ailleurs ciblé divers défis et avantages potentiels en lien avec leur propre utilisation de ces navettes et ces éléments constituent en soi une liste de critères à prendre en considération pour améliorer à la fois l'acceptabilité sociale et la fréquentation dans les futurs projets de navettes automatisées.

Les riverains semblent bien cohabiter avec la navette. À la fois sur les données vidéos et dans les réponses à nos questions et discussion, les indicateurs de sécurité confirment l'aspect sécuritaire des navettes lorsqu'elles sont en interaction avec d'autres usagers de la route. Les propos des participants allaient dans le même sens, bien qu'une certaine méconnaissance du fonctionnement de la navette soit encore présente. Par exemple, des répondants ont affirmés ne pas douter de la sécurité de la navette, mais ont aussi avoué s'assurer d'être vu par l'opérateur lors de manœuvre à proximité de la navette.

Dans le même sens, ***le sentiment de sécurité est généralement élevé*** comme usagers de la navette et comme riverain. L'analyse de sécurité routière des données vidéos confirment ces perceptions de nos répondants, mais ceux-ci ont tout de même mis de l'avant les interactions avec les autres usagers de la route comme étant le principal défi à relever pour l'acceptabilité sociale de ces navettes sur nos routes.

La ***principale raison d'utilisation de la navette était la curiosité***, et il semble, à la lumière de leur expérience, que certains points seront à améliorer si nous voulons que les utilisateurs soient au rendez-vous sur une base quotidienne. Le choix du trajet, qui s'avère très différents entre les deux projets-pilotes, la fiabilité et la fréquence de l'horaire sont déterminants pour la suite des choses.

Finalement, rappelons que ***le contexte et le trajet demeure la clé du succès***. Où ces navettes vont se déplacer dans le futur pourrait grandement changer les résultats présentés ici. De fait, les résultats encourageants en termes de sécurité routière reposent sur une bonne planification du trajet, avec des voies réservées ou des manœuvres protégées (virage à droite ou à gauche, par exemple). La curiosité, mais aussi la nouveauté qui vient avec ces véhicules peuvent être une source de distraction pour les autres usagers de la route au départ, ce point n'est pas à négliger dans la signalisation entourant un trajet.

Table des matières

Sommaire	iii
Synthèse des conclusions et recommandations.....	vi
Table des matières.....	vii
Liste des Tableaux.....	x
Liste des Figures	xi
1. Introduction.....	1
1.1. Rappel du mandat et des objectifs	1
2. Revue des écrits : navettes automatisées, sécurité routière et acceptabilité sociale.....	4
2.1. Bref rappel de ce qu'est une navette automatisée	4
2.2. Navette et acceptabilité sociale	6
2.3. Navettes et sécurité routière	8
3. Méthodologie.....	10
3.1. Cas à l'étude : Présentation des projets de navettes automatisées à l'étude.....	10
3.1.1. Candiac.....	10
3.1.2. Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (MHM).....	14
3.2. Acceptabilité sociale : questionnaire sur la rue	16
3.2.1. Construction du questionnaire	17
3.2.2. Déroulement du terrain	18
3.3. Expérience des usagers : questionnaire dans la navette	19
3.3.1. Construction du questionnaire	19
3.3.2. Déroulement du terrain	20
3.4. Critères d'acceptabilité sociale pour l'implantation de nouveaux projets- pilotes de navettes automatisées : groupes de discussion	21
3.4.1. Déroulement du terrain	21
3.5. Sécurité routière : observation vidéo.....	21
3.5.1. Choix des sites de collecte vidéo et installation des caméras	22
3.5.2. Prétraitement des images vidéo.....	26
3.5.3. Présentations des indicateurs de sécurité retenus.....	27

4.	Résultats.....	31
4.1.	Portrait des répondants	31
4.1.1.	Caractéristiques sociodémographiques des répondants (sur la rue et dans la navette) par rapport à la population de la CMM,.....	31
4.1.2.	Habitudes de mobilité des répondants et sentiment à propos de la mobilité sans conducteur	32
4.1.3.	Perception et familiarité avec le quartier (données collectées sur la rue)	34
4.2.	Connaissance des projets-pilotes et interaction avec les navettes selon les répondants sur la rue et les groupes de discussion.....	35
4.2.1.	Connaissance et appréciation du projet pilote.....	35
4.2.2.	Interaction avec la navette.....	36
4.3.	Perception de la sécurité des usagers de la route et du respect des règles en présence de la navette	38
4.3.1.	L’effet potentiel de la navette sur la sécurité des piétons, des cyclistes et des occupants de véhicules.....	38
4.3.2.	L’effet potentiel de la navette sur le respect des règles par les piétons, les cyclistes et les conducteurs	40
4.4.	La perception des gens interrogés dans la navette par rapport à la sécurité des usagers de la route	42
4.5.	Perception des avantages et défis liés à la navette selon les répondants (sur la rue et dans la navette) et les groupes de discussion	42
4.5.1.	Avantages potentiels des navettes automatisées	43
4.6.	Défis prioritaires liés à l’introduction des véhicules automatisés sur les routes (questionnaire sur rue et groupes de discussion).....	45
4.7.	Expérience des usagers dans la navette	47
4.7.1.	Lieux d’origine, de destination et motifs pour l’utilisation de la navette automatisée.....	48
4.7.2.	Satisfaction des usagers de la navette	49
4.8.	Sécurité routière	52
4.8.1.	Indicateurs de circulation	52
4.8.2.	Indicateurs de sécurité.....	60

4.9. Grille de critère pour l'acceptabilité sociale des futurs projets de navettes automatisées	68
5. Conclusion	70
5.1. Faits saillants des résultats	70
5.1.1. Acceptabilité sociale	70
5.1.2. Sécurité routière	70
5.1.3. Critères à prendre en considération pour de futurs projets	71
5.2. Forces et limites du projet de recherche	72
6. Références bibliographiques.....	74
Annexe I : Certificat d'éthique.....	78
Annexe II : Questionnaire sur la rue	79
Annexe III : Questionnaire dans la navette	85
Annexe IV : Grille d'entretien de groupe	90
Annexe V : Détails méthodologiques pour l'analyse des vidéos.....	93

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Modifications aux objectifs du projet initial	3
Tableau 2 : Résumé des données vidéo collectées au site MHM et à Candiac	24
Tableau 3 : Caractéristiques sociodémographiques des personnes interrogées sur rue et dans la navette à Maisonneuve et à Candiac	32
Tableau 4 : Habitudes de mobilité des répondants	33
Tableau 5 : Perception et familiarité avec le quartier	34
Tableau 6 : Proportion en accord (d'accord et totalement d'accord) avec les différents avantages de la navette automatisée.....	43
Tableau 7 : Proportion des répondants (sur rue) selon leur degré d'accord aux défis prioritaires relatifs aux navettes automatisées.....	46
Tableau 8 : Correspondances entre les questions d'origine (par thème) et le niveau de satisfaction	50
Tableau 9 : Statistiques des vitesses des véhicules témoins et des navettes à chaque site	53
Tableau 10 : Résultats du test KS comparant les distributions des vitesses des navettes et des véhicules témoins à chaque site	53
Tableau 11 Statistiques des accélérations des véhicules témoins et des navettes à chaque site.....	56
Tableau 12 : Test KS comparant les distributions des accélérations des navettes et des véhicules témoins à chaque site	56
Tableau 13 : Résultats des tests KS comparant les distributions des TIV_{15} selon qu'une navette ou qu'un véhicule témoin est en tête à trois sites de Candiac	58
Tableau 14 : Nombre d'interactions de suivis jugées dangereuses à trois sites de Candiac	58
Tableau 15 : Résultats des tests KS comparant les distributions des TTC_{15} des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site	61
Tableau 16 : Résultats des tests KS comparant les distributions des PET des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site	64
Tableau 17 : Critères pour l'acceptabilité sociale et la fréquentation des navettes autonomes	68

Liste des Figures

Figure 1 : Niveau d'automatisation des véhicules établi par la SAE	5
Figure 2 : Processus d'acceptabilité d'une technologie en 3 étapes	7
Figure 3 : Trajet et arrêts de la navette automatisée à Candiac.....	12
Figure 4: Signalisation de la navette à Candiac (de gauche à droite : grand panneau au point de départ et au terminus, petits panneaux sur le trajet, signalisation à la fin du trajet).....	12
Figure 5 : Différents sites le long du trajet du projet- pilote de la navette automatisée à Candiac	13
Figure 6 : Trajet et arrêts de la navette automatisée dans Mercier-Hochelaga-Maisonneuve.....	14
Figure 7 : Signalisation des navettes dans Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (en haut : marquage au sol aux arrêts et panneau pour signaler la voie réservée; en bas : panneau arrêt et le long du trajet).....	15
Figure 8 : le quartier dynamique des navettes automatisées de Maisonneuve.....	16
Figure 9 : Vue aérienne des sites de collecte (points rouges) à MHM (gauche) et Candiac (droite).	23
Figure 10 : Installation typique à Candiac sur le boulevard Montcalm	25
Figure 11 : Exemple des prototypes extraits à l'intersection de Montcalm et Marie-Victorin	26
Figure 12 : Image illustrant le calcul du TIV (entre les instants t_1 et t_2 respectivement, t_2 correspondant au moment où la position du véhicule suivant atteint la position à l'instant t_1 du véhicule meneur)	28
Figure 13 : Trois usagers avec leurs trajectoires possibles (H_i, j), les points de collision potentielle et temps à la collision t_k correspondants.....	29
Figure 14 : Illustration des instants de départ et d'entrée dans la zone de chevauchement (hachurée) des trajectoires des deux usagers pour le calcul du PET ...	30
Figure 15 Source d'information pour la connaissance du projet- pilote des répondants	36
Figure 16 : la perception des répondants par rapport à l'effet de la navette sur la sécurité des usagers de la route	39

Figure 17 : Perception des répondants par rapport à l'effet de la navette sur le respect des règles par les usagers de la route	41
Figure 18 : Perception des répondants du risque de collision entre la navette et les usagers de la route (piétons, cycliste et autre véhicule).....	42
Figure 19 : Proportion des répondants en accord avec les défis prioritaires reliés à l'implantation de navettes automatisées	46
Figure 20 : Proportion des répondants selon l'origine et la destination des usagers de la navette de Maisonneuve (n=53).....	48
Figure 21 : Indices de satisfaction de l'expérience des usagers de la navette.....	51
Figure 22 : Distributions des vitesses des véhicules témoins et des navettes à chaque site.....	54
Figure 23 : Distributions des accélérations des véhicules témoins et des navettes à chaque site.....	57
Figure 24 : Distributions des TIV_{15} avec la navette ou un conducteur en tête pour toutes les situations de suivi (en haut) et les situations de suivi avec un dépassement (en bas) à trois sites de Candiac.....	59
Figure 25 : Distributions des TTC_{15} des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site	61
Figure 26 : Distributions des PET des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site	64
Figure 27 : Distributions des TTC_{15} des interactions avec les cyclistes aux trois sites de Montréal.....	66
Figure 28 : Distributions des PET des interactions avec les cyclistes aux trois sites de Montréal.....	66
Figure 29 : Distributions des TTC_{15} des interactions avec les piétons	67
Figure 30 : Distributions des PET des interactions avec les piétons.....	67

1. Introduction

1.1. Rappel du mandat et des objectifs

La Fondation CAA-Québec et ses partenaires ont pour mandat d'évaluer l'expérience des usagers de la route lors de deux projets-pilotes de navettes automatisées (et électrique), l'un à Candiac et l'autre à Montréal au courant de l'automne 2018, du printemps et de l'été 2019. Cette évaluation a pour but d'améliorer les connaissances des interactions entre les usagers et ce nouveau type de navette. Une équipe de recherche dirigée par les chercheurs *Marie Soleil Cloutier* (professeure à l'institut national de la recherche scientifique- UCS) et *Nicolas Saunier* (professeur à Polytechnique Montréal) a été chargée de ce projet de recherche qui est basé sur trois objectifs :

1. Connaître les perceptions et pratiques des usagers de la navette (projet-pilote) : expérience client, fréquence d'utilisation, potentiel de mobilité durable.
2. Documenter les comportements des usagers de la route (piétons, cyclistes, automobilistes), en présence de la navette automatisée sur le réseau routier par des observations directes et des vidéos.
3. Connaître les perceptions des riverains par rapport à l'arrivée des véhicules automatisés sur le réseau routier : partage de la route, respect du code de la sécurité routière, utilisation du service.
4. Proposer une grille des critères à prendre en considération lors de projets de véhicules autonomes sur le réseau routier.

Pour le premier objectif, et afin de documenter *les perceptions et pratiques des usagers de la navette* (pour les deux projets- pilotes), l'équipe de recherche a opté pour une enquête- terrain « dans la navette » à partir d'un questionnaire basé sur trois thèmes : *Modes de transport utilisés avant la navette, raisons pour utiliser la navette et l'expérience client de la navette* (horaire, confort, perception du risque d'incident ou de collision, etc.). La collecte de ces données n'a été faite que pour la navette de Montréal (dans Mercier- Hochelaga- Maisonneuve), où 53 personnes ont répondu à ce questionnaire. Le projet- pilote à Candiac qui devait être en service durant l'été 2019 (depuis le 15 mai) n'a repris sa fonction qu'en automne 2019, suite à un problème technique qui a rendu la navette immobile durant la période estivale. Malgré la reprise du service de la navette automatisée à Candiac, aucun usager ne l'a prise.

En ce qui concerne le deuxième objectif, qui est recueillir les **comportements des usagers de la route en présence de la navette automatisée** sur le réseau routier, l'équipe de recherche a prévu d'effectuer des observations directes des piétons et des cyclistes, ainsi que des observations à la fois par des vidéos et sur site. Après analyse en pré-terrain, aucune observation directe n'a été effectuée par des observateurs en raison du peu de piétons sur place. Par contre, des vidéos ont été enregistrées à Candiac (4 sites) et à Montréal (3 sites). Des caméras ont été installées sur des poteaux d'utilité publique à des lieux susceptibles d'interactions entre la navette et les autres usagers (intersections, entrée de commerce ou de bureaux) afin d'observer les trajectoires, comportements et interactions de tous les usagers de la route avec la navette et entre eux.

Pour le troisième objectif, et afin de collecter **les perceptions de la population par rapport à l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier**, nous avons opté pour une enquête par questionnaire sur place (le long du parcours de la navette à Montréal et à Candiac). Ce questionnaire est basé sur quatre thèmes principaux : *connaissance et perception du lieu, connaissance du projet- pilote, comportement en présence de la navette et perception de la population par rapport au projet*. Cinquante-trois personnes ont été interrogées à Montréal et 133 à Candiac.

Enfin, quatre discussions de groupes étaient prévues pour collecter des **critères d'acceptabilité sociale** pour les futurs projets de navettes automatisées sur le réseau routier. Avec les circonstances liées à la COVID-19 (fermeture de l'INRS et d'autres établissements) nous avons réussi à réaliser deux groupes de discussion. Le premier était avec des étudiants et un employé de l'INRS (n=5) et le deuxième avec des aînés à Candiac (n=4). Une discussion de groupe avec les employés de la ville de Candiac et une autre avec les membres du Centre Communautaire et Social de Maisonneuve à Montréal ont finalement été annulées dans ces conditions.

Le

Tableau 1 résume les objectifs de ce projet, ainsi que les changements qui ont été faits que ce soit sur le terrain ou en raison des circonstances liées à la COVID-19.

Tableau 1 : Modifications aux objectifs du projet initial

	Objectif du devis	Méthodologie proposée au début du projet	Modifications (si applicable)
1	Connaître les perceptions et pratiques des usagers de la navette (projet-pilote) : expérience client, fréquence d'utilisation, potentiel de mobilité durable	Enquête-terrain par questionnaire pour recueillir les perceptions et pratiques des usagers de la navette	L'enquête a eu lieu à Montréal dans la navette (n=53 répondants) mais pas à Candiac, malgré plusieurs tentatives (arrêt de la navette et aucun usager possible dans la navette lorsqu'elle était en service)
2	Documenter les comportements des usagers de la route en présence de la navette automatisée sur le réseau routier par des observations directes et des vidéos.	Protocole pour recueillir les comportements des usagers de la route en présence de la navette	Aucune observation directe n'a été effectuée par des observateurs en raison du peu de piétons sur place. Nous avons des vidéos à Montréal (3 sites) et à Candiac (4 sites). NOTE : La navette de Candiac n'était pas toujours en autonomie aux endroits où des données vidéo ont été collectées, ce qui peut biaiser les résultats sur les comportements de la navette (mais pas sur les autres usagers)
3	Connaître les perceptions des riverains par rapport à l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier : partage de la route, respect du code de la sécurité routière, utilisation du service	Enquête-terrain par questionnaire pour recueillir les perceptions de la population par rapport à l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier	Ce volet a été effectué le long du parcours à Montréal (n= 53 répondants) et Candiac (n=133 répondants).
4	Proposer une grille des critères à prendre en considération lors de projets de véhicules autonomes sur le réseau routier	Groupes de discussion sur la grille de critères pour les futurs projets de véhicules autonomes sur le réseau routier	Nous avons eu le temps de faire deux (2) groupes de discussion avant la fermeture liée à la covid-19 : un groupe avec des étudiants de l'INRS (n=5) et un groupe avec des aînés à Candiac (n=4). Nous aurions aimé faire 2 autres groupes, un était prévu avec les employés de la ville de Candiac et un autre à Montréal près du marché Maisonneuve.

2. Revue des écrits : navettes automatisées, sécurité routière et acceptabilité sociale

2.1. Bref rappel de ce qu'est une navette automatisée

Un véhicule est dit « autonome » s'il est équipé d'un système de pilotage automatique lui permettant de circuler dans le réseau routier sans l'intervention de l'homme (Bracco et al. 2018). On parle aussi de véhicule sans conducteur ou de véhicule complètement automatisé, le terme que l'on emploie dans ce rapport. Depuis 2007, plusieurs voitures automatisées ont été testés sur les rues de différents pays (France, États-Unis, Finlande, etc.) (Bonnefon, Shariff et Rahwan 2016). Comme l'illustre la Figure 1, les véhicules peuvent avoir un niveau d'automatisation qui varie de 0 à 5 selon la norme J3016 établie par la *Society of Automotive Engineers International* (SAE) (SAAQ 2019). Des véhicules automatisés de niveau 1 ou 2 sont maintenant largement disponibles sur le marché et circulent sur les routes, puisqu'il s'agit de véhicules équipés respectivement de 1 ou 2 systèmes de contrôle automatisé du véhicule, comme le régulateur de vitesse et un système de maintien dans la voie. À ces niveaux-là, le conducteur reste entièrement responsable de la conduite du véhicule. Le niveau 3 correspond à une automatisation conditionnelle et le conducteur doit être prêt à reprendre la conduite à tout moment, tandis que le niveau 4 implique une automatisation élevée avec un domaine d'opération limité (ex : dans le temps ou l'espace) et le niveau 5, une automatisation complète du véhicule (Conseil canadien des administrations en transport motorisé 2016). Au Québec, c'est avec le projet de loi 165, adopté en 2018, que la notion de « véhicule autonome » a été introduite dans le *Code de la sécurité routière*. Ce projet autorise le ministère des transports à utiliser des véhicules des niveaux 3 à 5 sur le réseau routier dans le cadre de projets pilotes pour une période de cinq ans (Chambre de l'assurance de dommage 2019). Les véhicules ayant une automatisation de niveau 5 circulant sur la voie publique sont uniquement autorisés dans le cadre de projets-pilotes comme ceux de Candiac (en 2018 et 2019) et de Montréal (en 2019) (SAAQ 2019).

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Figure 1 : Niveau d'automatisation des véhicules établi par la SAE.

Source : (SAAQ 2019)

Pour qu'un véhicule automatisé puisse assurer la sécurité des passagers et des autres usagers de la route, il doit être équipé d'une multitude d'appareils électroniques. En effet, des caméras infrarouges embarquées permettent d'effectuer des tâches indispensables au bon fonctionnement du véhicule comme détecter les autres véhicules et usagers, la route et les obstacles, les zones de travaux, lire les panneaux de signalisations, les feux tricolores, etc. de jour comme de nuit (Du Chapelet et al. 2016). Ces informations sont aussi recueillies par d'autres capteurs comme des radars ou des capteurs ultrasons qui fonctionnent quelles que soient les conditions météorologiques (brouillard, ensoleillement, pluie, etc.) (Waymo 2017). De plus, des systèmes LIDAR (Light Detection and Ranging) reconstituent une cartographie en 3D de l'environnement tout autour de la voiture à l'aide de lasers. Cette technologie permet de définir avec précision la distance séparant le véhicule automatisé des autres véhicules et usagers et d'estimer leur vitesse. Cela est possible par l'analyse des propriétés des faisceaux laser renvoyés

à l'émetteur (Du Chapelet et al. 2016). Couplé à cela, une antenne GNSS (ex : GPS) permet d'effectuer une localisation du véhicule lui permettant de se localiser de manière très précise afin de pouvoir suivre un itinéraire, prendre des virages, connaître l'emplacement des feux de circulation, etc. Les informations enregistrées par tous ces capteurs sont traitées par le logiciel informatique du véhicule, lui permettant de prendre les décisions de navigation et de circulation (CEA 2017).

2.2. Navette et acceptabilité sociale

D'après Nielsen (1994), l'acceptabilité d'un système dépend de deux facteurs : l'acceptabilité pratique (coût, fiabilité, utilité, facilité d'utilisation, etc.) et l'acceptabilité sociale. Issu de la psychologie sociale, l'acceptabilité sociale est définie comme les perceptions et représentations sociales qui permettent de mesurer le degré de satisfaction de la population par rapport à un objet et de son usage. L'acceptabilité sociale d'une nouvelle technologie, comme la navette automatisée, désigne donc la représentation subjective d'une population permettant non seulement de comprendre leur niveau d'acceptation de cette technologie, mais aussi le degré de son utilité pour les usagers (Bel 2016 ; Bel, Coeugnet et Watteau 2019 ; Weistroffer 2014). Il est donc important de connaître les perceptions de la population sur le sujet. En effet, la mobilité sans conducteur étant destinée à être utilisée par la population, l'acceptabilité par celle-ci est une précondition à l'obtention des bénéfices potentiels de ces véhicules (Najm et al. 2006).

Bel (2016) et Bel, Coeugnet et Watteau (2019) expliquent le processus d'acceptabilité sociale d'une technologie en trois étapes : l'acceptabilité a priori, l'acceptation et l'appropriation à l'usage (Voir Figure 2). La première étape, qui est l'*acceptabilité a priori*, concerne les critères qui peuvent rendre la technologie attrayante et acceptable avant qu'une personne l'utilise. Ces auteurs expliquent que cette étape est le résultat d'une comparaison entre la réalité (comme les navettes non automatisées) et les avantages qui sont apportés par cette nouvelle technologie (la navette automatisée) (Venkatesh et al. 2003 ; Bel, Coeugnet et Watteau 2019).

Quant à la deuxième étape du processus d'acceptabilité sociale, qui est l'*acceptation de la technologie* (la navette automatisée dans notre cas), elle désigne ce qu'une personne retient après avoir fait l'expérience de ladite technologie. Suite à cette expérience, la

personne peut décider de s'approprier ou pas cette technologie, ce qui correspond à la 3^e étape. *L'appropriation à l'usage* désigne l'adéquation entre l'utilisateur et la nouvelle technologie (la navette automatisée) et du choix des usagers de l'utiliser ou non comme un moyen de transport quotidien.

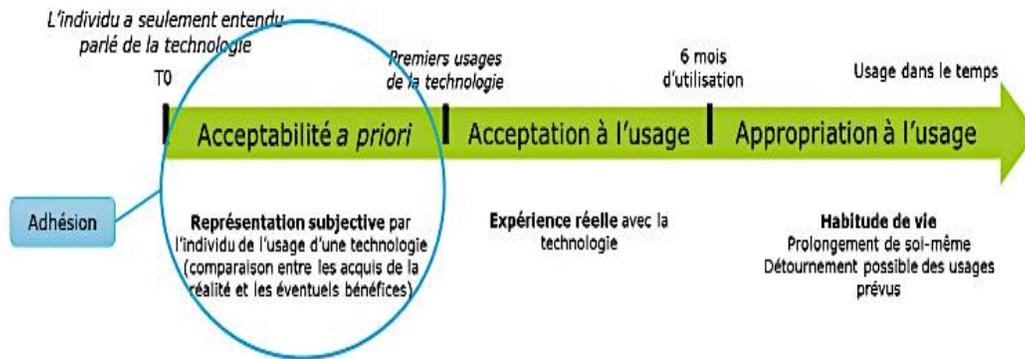


Figure 2 : Processus d'acceptabilité d'une technologie en 3 étapes

Source : (Bel, Coeugnet et Watteau 2019)

Le nombre d'études sur l'acceptabilité sociale des navettes automatisées restent faibles jusqu'ici (Dong, DiScenna et Guerra 2017). Nous pouvons toutefois en citer quelques-unes publiées récemment ou en cours de réalisation. Une étude menée auprès de 384 utilisateurs d'une navette automatisée en circulation dans le quartier Berlin-Schöneberg en Allemagne a démontré que la population était favorable à la navette automatisée et optimistes quant à leur implantation dans le réseau de transport en commun actuel (Nordhoff et al. 2018).

D'autres études ont permis de faire ressortir les *crainces et les facteurs qui ont un effet négatif* sur la perception de la population à propos de ces véhicules. Les résultats d'une enquête faite en Suisse sur la perception de la population indiquent que les répondants s'inquiètent des interactions entre les usagers vulnérables (piétons et cyclistes) et les véhicules automatisés. Les inquiétudes quant aux interactions entre véhicules traditionnels et automatisés sont moindres. De plus, la même étude affirme que le risque de perte d'emploi suite à l'arrivée de ces véhicules pourrait être un facteur influençant l'acceptabilité sociale (Wicki et Bernauer 2018). Enfin, une étude a démontré que le

risque de piratage informatique du logiciel faisant fonctionner le véhicule est une crainte majeure pour la population (Kyriakidis, Happee et de Winter 2015).

Enfin, d'autres études ont relevé des exemples de *critères qui sont indispensables pour que la population générale accepte d'utiliser une navette automatisée*, comme la présence d'un opérateur, la fiabilité du service, etc. Par exemple, Dong, DiScenna et Guerra (2017) ont montré que 2/3 des personnes interrogées accepteraient de monter dans une telle navette s'il y a un employé à bord qui assurerait le service à la clientèle et la surveillance des opérations du véhicule. Monéger (2018) a montré pour sa part que 70% des passagers interrogés dans des navettes automatisées ont déclaré que le critère de fiabilité, c'est-à-dire l'absence de panne et les fréquences de passage des navettes, est l'un des critères principaux à l'origine de leur utilisation.

La présente étude analyse l'acceptabilité sociale de la navette automatisée à différentes étapes du processus (citées plus haut): *l'acceptabilité a priori*, en étudiant les perceptions générales des véhicules automatisés chez les riverains aux deux projets, *l'acceptation de la navette automatisée*, c'est-à-dire l'expérience réelle vécue par les usagers qui sont dans la navette, et enfin *l'appropriation de la navette*, à savoir si ces usagers ont adopté ou adopteraient ce véhicule comme moyen de transport quotidien. Enfin, ce projet nous a aussi permis d'élaborer une grille de critères à prendre en considération lors de projets de véhicules automatisés sur le réseau routier.

2.3. Navettes et sécurité routière

Du projet CityMobil2 implanté dans plusieurs villes européennes, à la technologie Waymo testée sur les routes des États-Unis, de nombreux projets de véhicules automatisés sont développés à travers le monde (Waymo 2017 ; Schieben et al. 2019). La multiplication de ces projets se fait avec la perspective d'atteindre le « niveau zéro » en termes d'accident de la route. En effet, une grande proportion des accidents étant provoqués par des erreurs humaines, certains font l'hypothèse que la mobilité sans conducteur permettrait d'atteindre cet objectif (Waymo 2017). Par ailleurs, il reste plusieurs éléments à confirmer en termes de sécurité pour que les piétons, cyclistes, automobilistes et autres usagers soient hors de danger face à ces nouveaux types de véhicules. Par exemple, comme l'indique Payre (2015), il se pourrait que de nouveaux

comportements liés à l'introduction des véhicules automatisés sur les routes apparaissent. « Les algorithmes utilisés par la conduite complètement automatisée visent à respecter le code de la route [et] assurer au mieux la sécurité » en évitant les accidents. En envisageant cela, des usagers pourraient essayer de tirer profit de ces technologies. Par exemple, un automobiliste ou un cycliste qui ne respecte pas la priorité lors d'interaction avec la navette, ou un piéton qui traverse à un endroit inapproprié. Les navettes se doivent de réagir correctement dans de telles situations.

D'autre part, les études typiques en sécurité routière reposent sur l'analyse de l'historique d'accidents. Il y a cependant des limites à l'utilisation de ses données puisqu'elles ne représentent qu'une partie des interactions qui ont lieu sur le réseau routier, et que les collisions sont assez rares statistiquement parlant, tout comme elles ont un certain caractère aléatoire dans l'espace et le temps (Laureshyn et al. 2016). De plus, tous les accidents ne sont pas rapportés et n'ont pas la même gravité de blessures, les moins graves étant encore moins rapportés dans les données policières, par exemple. Cela fait en sorte que des méthodes ont été développées dans les dernières années en complément aux données d'accidents (Johnsson, Laureshyn et De Ceunynck 2018). C'est le cas des études qui se basent sur les interactions ou les conflits de trafic. Amundsen et Hyden définissaient en 1977 le conflit comme étant une situation dans laquelle deux usagers de la route ou plus se rapprochent dans l'espace et dans le temps, au point qu'une collision se produise si leurs mouvements restent inchangés. En observant ces conflits, on peut alors calculer une série d'indicateurs qui sont utiles pour estimer les niveaux de sécurité routière de certains lieux et de certaines situations. La présente étude analyse la sécurité routière des navettes automatisées à partir de vidéos permettant l'extraction des interactions et conflits de trafic puisque ces deux projets pilotes n'ont pas d'historique d'accidents. Nous pourrions ainsi en estimer la sécurité en comparant les indicateurs choisis pour les navettes et les autres véhicules qui passent aux mêmes endroits.

3. Méthodologie

Notre méthodologie se divise en deux volets : celui de l'acceptabilité sociale (V1) et celui de la sécurité routière (V2). Afin de répondre aux différents objectifs cités dans la première partie, quatre outils méthodologiques ont été créés pour ces deux volets :

- V1 : *Questionnaire « sur la rue »* (voir Annexe 1) qui va nous permettre de collecter les perceptions des riverains par rapport à l'arrivée des véhicules automatisés sur le réseau routier (partage de la route, respect du code de la sécurité routière, utilisation du service)
- V1 : *Questionnaire « dans la navette »* (voir Annexe 2) afin de documenter les données sur les expériences des usagers de la navette.
- V1 : *Entretien de groupe* (voir Annexe 3) pour élaborer une grille des critères à prendre en considération lors de projets de véhicules automatisés sur le réseau routier.
- V2 : *Observation par vidéo* (Annexe 4) pour collecter les comportements des usagers de la route (piétons, cyclistes, automobilistes), en présence de la navette automatisée sur le réseau routier par des observations directes et des vidéos et ainsi pouvoir en extraire des indicateurs de sécurité routière.

Ce chapitre méthodologique débute par la présentation des cas à l'étude, pour ensuite présenter les outils et le déroulement des collectes des volets 1 (perception et expérience des usagers) et 2 (sécurité routière).

3.1. Cas à l'étude : Présentation des projets de navettes automatisées à l'étude

Cette étude s'appuie sur deux projets- pilotes de navettes automatisées implantées dans la ville de Candiac et dans l'arrondissement Mercier-Hochelaga-Maisonneuve à Montréal.

3.1.1. *Candiac*

Le projet-pilote de Candiac utilise une seule navette automatisée et électrique créée par Navya, entreprise française spécialisée dans la conception de système de conduite automatisé, et exploitée par Kéolis, entreprise offrant des services de mobilité multimodaux (NAVYA 2019 ; Kéolis 2019).

Il s'agit du premier projet-pilote de navette automatisée sur la voie publique au Québec et il a commencé à l'automne 2018. Pour l'année 2019, ce projet devait être en service durant la période estivale à partir du 15 mai. Cependant, des bris mécaniques ont gardé le véhicule au garage jusqu'en septembre 2019. Son parcours est d'une distance de 2 km, du stationnement incitatif de Candiac (ARTM) jusqu'à l'intersection des boulevards Marie-Victorin et Montcalm. La navette de Candiac possède huit arrêts dont certains sont aussi des arrêts de transport collectif de la municipalité de Candiac (Figure 3) et roule en boucle sur le circuit. Ces arrêts sont démarqués par des panneaux de signalisation : deux grands panneaux aux points de départ et d'arrivée et des petits panneaux pour les autres arrêts sur le trajet (Figure 4). La navette de Candiac a une capacité de 15 passagers et un opérateur est à bord en tout temps qui intervient en cas de nécessité. Ses horaires de fonctionnement ne sont pas fixes et varient régulièrement. Ils sont consultables sur le site internet du projet.

La navette de Candiac roule à une vitesse de 25 km/h dans un environnement principalement industriel. On y trouve une résidence privée pour retraités, l'hôtel de ville, la caserne des pompiers ainsi qu'un marché bio-local donnant directement sur le boulevard où circule la navette. Le quartier comprend aussi un grand parc (Parc André-J-Côté), des commerces et des logements (Figure 5).

- A** Départ : stationnement incitatif
- B** Arrivée: stationnement
- 1** Arrêt : stationnement
- 2** Arrêt : Résidence Montcalm
- 3** Arrêt : avant l'intersection Marie Victorin/ Montcalm dans les deux sens de circulation
- 6**
- 4** Arrêt : Usine de filtration (terminus)
- 5**
- 7** Arrêt : usines
- 8** Arrêt : Hôtel de Ville de Candiac, caserne de pompier et marché bio-local.

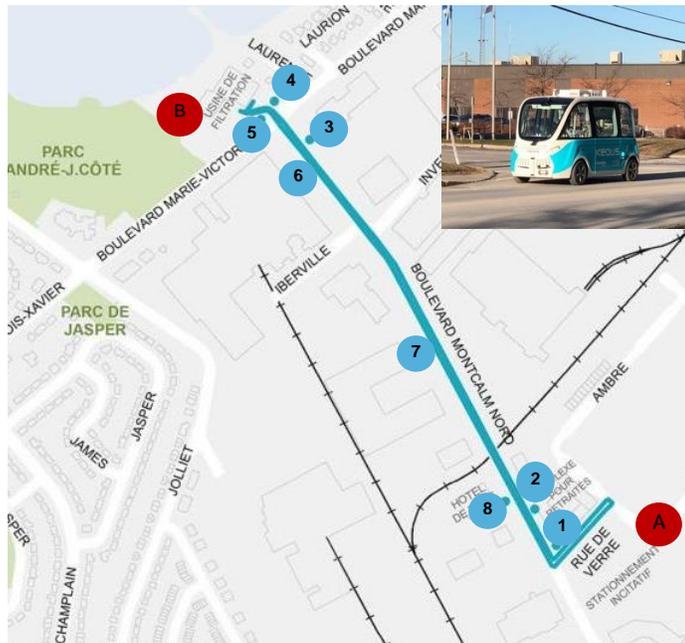


Figure 3 : Trajet et arrêts de la navette automatisée à Candiac

Source : élaboration des auteurs, fond plan (Kéolis, 2019)



Figure 4: Signalisation de la navette à Candiac (de gauche à droite : grand panneau au point de départ et au terminus, petits panneaux sur le trajet, signalisation à la fin du trajet)

Source : photo prises par les enquêteurs, été 2019



Stationnement incitatif (début du parcours)



Commerces



Résidence pour aînés



Caserne de pompier



Hôtel de Ville



Parc André J- Côté



Voie ferrée



Industries



Usine de filtration (fin du parcours)

Figure 5 : Différents sites le long du trajet du projet- pilote de la navette automatisée à Candiac

Source : photos prise par les enquêteurs, été 2019 et Google Street View

3.1.2. *Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (MHM)*

Ce projet-pilote comprend deux navettes automatisées et électriques. Elles sont déployées par la société *Easymile* et exploitées par la multinationale française *Transdev*, un opérateur mondialement connu en mobilité. Elles étaient en opération du 21 juin au 4 août 2019, de 10h à 18h toute la semaine. Le parcours s'étend sur 1,4 km et comprend sept arrêts (Figure 6). Chaque arrêt est marqué par un marquage au sol et/ ou un grand panneau de signalisation (Figure 7).

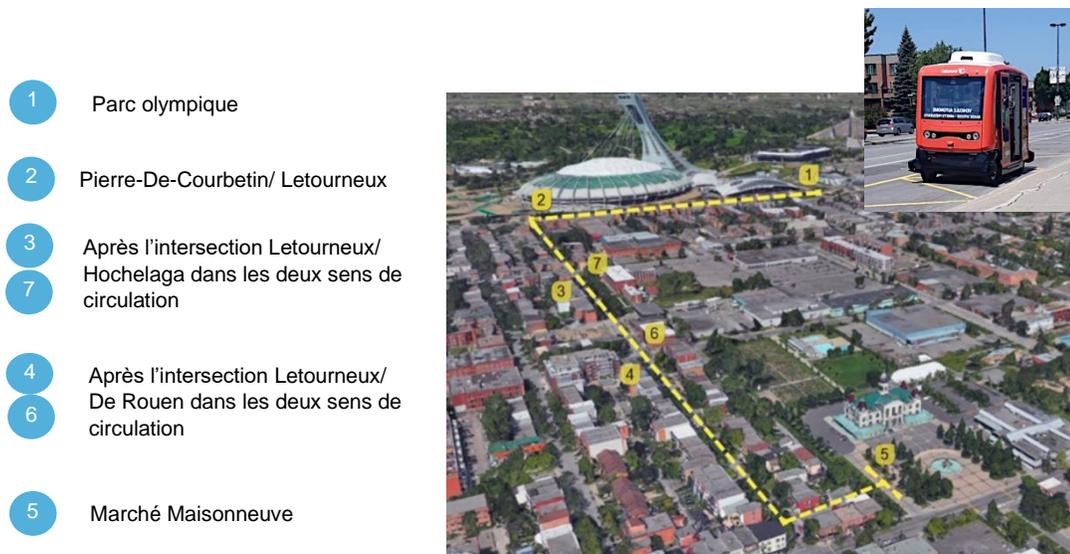


Figure 6 : Trajet et arrêts de la navette automatisée dans Mercier-Hochelaga-Maisonneuve

Source : Auteurs (photo de la navette) et Ville de Montréal, 2019 (photo du trajet).

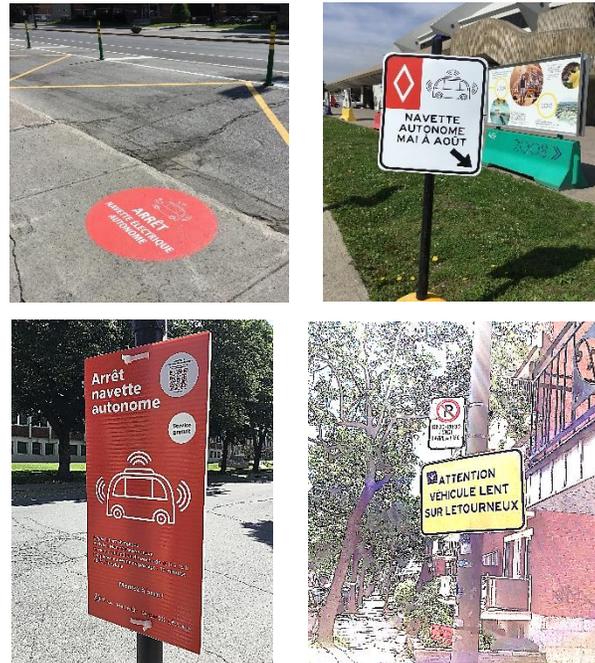


Figure 7 : Signalisation des navettes dans Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (en haut : marquage au sol aux arrêts et panneau pour signaler la voie réservée; en bas : panneau arrêt et le long du trajet)

Source : photos prises par les enquêteurs, été 2019

Chacune des navettes de Maisonneuve a une capacité de 12 passagers et un opérateur est à bord en tout temps. Ces navettes circulent à une vitesse moyenne de 15 km/h dans un espace avec une grande variété d’usagers. Elles partent du Parc olympique, proche des stations Pie-IX et Viau, et arrivent au marché Maisonneuve via la ruelle près de la place Gennevilliers, qui sont tous deux des endroits achalandés. De plus, le parcours se fait au sein d’un quartier dense composé principalement de logements, mais aussi d’écoles, de commerces et d’un jardin communautaire, etc. (figure 10).



Logements



Petites commerces et logement



Parc et jardin communautaire



Place Genevilliers au Marché
Maisonneuve



Ruelle rejoignant la place Genevilliers (fin
du parcours)

Figure 8 : le quartier dynamique des navettes automatisées de Maisonneuve

Source : photos prises par les enquêteurs, été 2019, Google Street View

3.2. Acceptabilité sociale : questionnaire sur la rue

Ce questionnaire permet de répondre à notre premier objectif qui est de connaître les perceptions de la population par rapport aux projets-pilotes et plus généralement à l'arrivée des véhicules automatisés sur le réseau routier (*acceptabilité a priori*). Ce questionnaire d'une dizaine de minutes est posé aux personnes se trouvant le long des trajets des deux sites d'études (ayant utilisé ou pas la navette).

Il est divisé en cinq sections (voir Annexe 1). La première s'intéresse aux *habitudes de déplacement des répondants* et estime leur connaissance et perception du lieu. La deuxième *évalue la connaissance qu'a le répondant du projet-pilote*. Une troisième partie s'intéresse au *comportement du répondant en présence de la navette* (s'il y a lieu). Une quatrième section est consacrée aux *perceptions de la population face au projet* et de manière générale à la *mobilité sans conducteur*. Enfin, une dernière section permet de recueillir les *données démographiques des participants*.

3.2.1. *Construction du questionnaire*

Le questionnaire a été conçu à partir de notre revue des écrits sur les enquêtes sur le même sujet. Notons que nous avons aussi échangé avec JALON Montréal, impliqué dans l'évaluation du projet implanté dans l'arrondissement MHM, dans l'objectif d'avoir des questions similaires et d'ainsi pouvoir comparer nos résultats¹.

Section 1 : Connaissance et perception du lieu

La première partie du questionnaire permet d'évaluer la connaissance et la perception qu'à le participant du lieu d'implantation des projets-pilotes. En effet, l'environnement de MHM et celui de Candiac sont très différents. Il est donc pertinent de voir si le lieu d'implantation du projet a une influence sur les perceptions des participants. De plus, une question permet de connaître le moyen de transport le plus utilisé par le répondant.

Section 2 : Connaissance du projet pilote

La deuxième section permet de savoir si les répondants connaissent le projet et comment ils en avaient entendu parler le cas échéant. La question « *utiliserez-vous une telle navette si elle était disponible sur certain de vos trajets ?* » est posée à tous les répondants pour obtenir leur perception de tels projets. De plus, pour les personnes ayant utilisé la navette, il leur est demandé s'ils ont apprécié l'expérience. Cette section permet donc d'avoir une idée de l'appréciation des usagers des navettes et de l'enthousiasme de la population à les utiliser. Les questions posées à bord de la navette permettront d'approfondir cela.

Section 3 : Comportement en présence de la navette

Une première question demande aux répondants s'ils ont remarqué la présence de la navette sur la voie publique, ou encore s'ils ont été en interaction avec la navette, et ce en tant que « piéton », « automobiliste », « cycliste » ou « autre » et s'ils ont modifié leur comportement lors de cette interaction.

Section 4 : Perception de la population

¹ Pour plus d'info sur leur projet, voir : <https://jalonmtl.org/navette-autonome-maisonneuve/>

Une liste de cinq avantages potentiels à l'utilisation des navettes automatisées et électriques était suggérée aux répondants pour obtenir leur opinion : un avantage porte sur la sécurité (réduction potentielle du nombre de collisions), deux sur l'environnement (réduction de la congestion et de la pollution de l'air et du bruit), et deux sur la mobilité (amélioration dans le quartier, et pour les personnes à mobilité réduite). Dans le même sens, quatre défis reliés à l'avènement des navettes automatisées sur nos routes ont été soumis aux participants en leur demandant lesquels étaient prioritaires : les interactions avec les usagers vulnérables, avec les autres véhicules, la sécurité informatique et les pertes d'emplois.

Une autre question s'intéresse aux effets de la navette sur la sécurité et le respect des règles par les piétons, les cyclistes et les automobilistes. Dans le but de mieux comprendre leurs perceptions des changements que pourraient apporter les navettes automatisées, les répondants avaient quatre choix de réponses pour a) la sécurité des piétons, cyclistes et automobilistes et b) le respect des règles par ces trois types d'usagers, à savoir « la mobilité sans conducteur aggraverait... », « la mobilité sans conducteur n'aurait aucun effet... », « la mobilité sans conducteur améliorerait... », et « pas d'opinion ». Une dernière question vient clore la quatrième section en s'intéressant au sentiment du répondant à propos de la mobilité sans conducteur de façon général (échelle de très pessimiste à très optimiste).

Section 5 : Données démographiques

La dernière partie est consacrée à la collecte des caractéristiques démographiques des participants. Le genre, le groupe d'âge, le statut, le plus haut niveau d'étude, la condition physique, la détention du permis de conduire et le code postal des participants sont demandé. De nombreuses études ont prouvé que certaines données démographiques influençaient la perception et l'acceptation des véhicules automatisés (Najm et al. 2006 ; Hohenberger, Spörrle et Welpe 2016 ; Deb et al. 2017 ; Wicki et Bernauer 2018). Une section similaire se retrouve aussi à la fin du questionnaire dans la navette.

3.2.2. Déroulement du terrain

Un certificat d'éthique a été obtenu pour l'ensemble de ce projet auprès du Comité d'éthique de l'INRS le 3 juin 2019 (numéro du certificat 19-506). Ce premier volet de la collecte sur le terrain s'est déroulé entre le 7 et le 24 juillet 2019, par 4 étudiants,

durant des jours de semaine et de fin de semaine. Les collectes à Candiac avaient une durée moyenne de 4h30 et celle à Maisonneuve de 3h. Durant cette période 186 questionnaires ont été récoltés dont 53 dans l'arrondissement Maisonneuve et 133 à Candiac. La durée de collecte de chacun des répondants ne dépassait pas 10 minutes.

À Candiac, le parc André-J-Côté a été privilégié afin de récolter les données : les concerts durant les fins de semaine nous ont permis de profiter de la forte affluence pour trouver des répondants. Nous nous y sommes aussi rendus en semaine car de nombreux employés des entreprises se trouvant sur le boulevard Montcalm se rendaient aussi dans ce parc durant leur pause du midi. De plus, nous avons passé une journée au sein de la résidence pour retraités Montcalm (groupe Chartwell) afin d'interroger les résidents. Dans l'arrondissement MHM, nous avons privilégié la place Gennevilliers-Laliberté, proche du Marché Maisonneuve et de la fin du parcours car elle était toujours très achalandée. Nous avons aussi interrogé des personnes se trouvant dans les rues à proximité du trajet et devant les stations de métro Pie-IX et Viau.

3.3.Expérience des usagers : questionnaire dans la navette

Un deuxième questionnaire, d'une durée d'environ 5 minutes, visait les usagers de la navette et était rempli directement à bord ou en sortant de la navette dans le but de documenter *l'acceptation à l'usage* et *l'appropriation à l'usage* tel que décrit plus haut (Figure 2).

Ce questionnaire est divisé en 4 sections (Annexe 2). La première s'intéresse aux *habitudes de déplacements* du répondant, ainsi qu'à leurs *points d'origine et de destination* pour le trajet en cours. Une deuxième partie évalue les *motivations à utiliser la navette* ainsi que leur *perception des avantages à son utilisation*. Une troisième section évalue *l'expérience à bord* de la navette. Enfin, une dernière partie permet de recueillir les données démographiques des participants, comme le questionnaire précédent.

3.3.1. Construction du questionnaire

Section 1 : Mode de transport utilisé et destination

La première partie du questionnaire permet de connaître l'origine et la destination des utilisateurs de la navette, et leur mode de transport habituel.

Section 2 : Raisons pour utiliser la navette

La deuxième section permet de savoir comment le participant a connu le projet-pilote et pour quelle raison il a décidé de l'utiliser (six choix de réponses possibles). Les critères relevés de cette partie seront croisés avec ceux ressortis des discussions de groupes. Il en va de même pour les avantages potentiels qui sont les mêmes que dans le questionnaire sur rue de façon à comparer les deux types de répondants. Une dernière question demande aux répondants si le trajet emprunté par la navette répond à leurs besoins.

Section 3 : Expérience client de la navette

La troisième section pose une série de questions afin de documenter la satisfaction des usagers (échelle de Likert en 5 points) par rapport : *au temps de parcours, au confort, à la vitesse, au nombre d'arrêt, à la courtoisie de l'opérateur, à l'horaire*, ainsi qu'*au sentiment de sécurité*. Enfin, la dernière question de cette section porte sur la perception des usagers par rapport au risque de collision de la navette automatisée avec les différents usagers de la route (piéton, cycliste et conducteurs).

3.3.2. Déroulement du terrain

La collecte de données dans les navettes a été effectuée du 9 au 28 juillet 2019 par quatre étudiants dans les deux navettes du site MHM. Comme discuté précédemment, seulement le site MHM a fait partir de cette collecte puisque la navette automatisée à Candiac n'a pas roulé de l'été 2019 et n'a transporté aucun passager quand elle a été en service à l'automne 2019. De fait, deux étudiantes de l'INRS se sont déplacé plusieurs fois vers Candiac en novembre 2019 (lors de la reprise du service) et ont pris place dans la navette trois jours différents (3h à chaque fois) mais aucun passager n'y est embarqué. Il est à noter que les sorties sur le terrain étaient organisées avec la firme JALON qui collectait aussi des données dans la navette, de façon à ne pas se nuire. Des plages horaires de 3 h à la fois étaient donc disponibles pour nos étudiants. Durant cette période 53 questionnaires ont été récoltés auprès d'usagers de la navette à MHM.

3.4.Critères d'acceptabilité sociale pour l'implantation de nouveaux projets- pilotes de navettes automatisées : groupes de discussion

Des groupes de discussion étaient prévu en fin de projet pour valider la grille de critères d'acceptabilité sociale élaboré à partir des résultats provenant des deux questionnaires. Quatre groupes de discussions (de 5 à 8 personnes) étaient prévus par l'équipe de recherche durant le mois de mars 2020, mais seulement deux ont été réalisés en raison des circonstances (fermeture de plusieurs établissements) liées à la COVID. Ces discussions en groupe sont divisé en trois « activités », en plus de l'introduction faite par l'équipe de recherche (Annexe 3) : une discussion autour des critères d'acceptabilité et des défis à prioriser pour s'assurer de l'adoption des navettes automatisées par la population ; une seconde discussion autour des avantages et inconvénients liés à l'implantation des navettes à court et moyen terme ; et une troisième discussion sur l'expérience des participants qui ont utilisé la navette (si applicable). Pour chacune de ces discussions, des questions complémentaires sont prévues pour répartir les débats si besoin (voir Annexe 3). Tous les thèmes abordés lors des groupes de discussion font aussi l'objet de questions dans les autres outils de collecte de données, ce qui permettra de comparer et d'intégrer le contenu des discussions avec les résultats des autres volets du projet.

3.4.1. *Déroulement du terrain*

Les deux groupes discussions ont eu lieu durant le mois de mars 2020 : un avec cinq étudiants de l'Institut National de la Recherche Scientifiques (INRS) et un autre avec quatre aînées de la résidence pour retraités « Montcalm » à Candiac. Ces participants avaient été recruté par courriel avec une lettre d'information envoyé au préalable et les discussions ont duré environ 1h à chaque fois (un peu plus à Candiac). La Ville de Candiac avait aussi accepté de nous recevoir pour un groupe de discussion (annulé en raison de la COVID) et nous étions en attente d'une réponse du Centre Communautaire et Social de Maisonneuve en mars dernier.

3.5.Sécurité routière : observation vidéo

En plus des questionnaires et des groupes de discussion, des données vidéos ont été collectées lors de différentes journées où les navettes étaient en fonction pour répondre

en partie au second objectif du projet. Les collectes ont été planifiées pour Candiac dès le mois de mai 2019, mais ont été reportées au mois de novembre 2019, alors que la navette automatisée était en service (même si elle n'a pas eu de passagers, comme nous l'avons mentionné précédemment). Des collectes similaires ont aussi été planifiées à MHM au mois de juillet 2019.

3.5.1. *Choix des sites de collecte vidéo et installation des caméras*

Dans un premier temps, des visites « pré-terrains » ont été effectuées en juin (à MHM et Candiac) pour planifier les collectes et déterminer les endroits où l'installation des caméras serait facile et où la vue offerte serait intéressante. Les dates et les heures des collectes ont également été déterminées au préalable selon l'horaire des navettes. Cette planification a finalement été revue quotidiennement, en particulier à Candiac en raison de l'horaire changeant des navettes.

La Figure 9 présente les cartes des sites de collecte à Maisonneuve et à Candiac tandis que le Tableau 2 présente l'ensemble des heures filmées aux différentes intersections et le nombre de passages des navettes. À Candiac, les problèmes techniques qu'a connus Keolis avec la navette de Navya ont mené à des horaires réduits et à des heures d'opérations moins assidues. Conséquemment, deux caméras, plus tôt qu'une, ont été utilisées simultanément à différents carrefours pour maximiser la quantité d'observations de la navette.

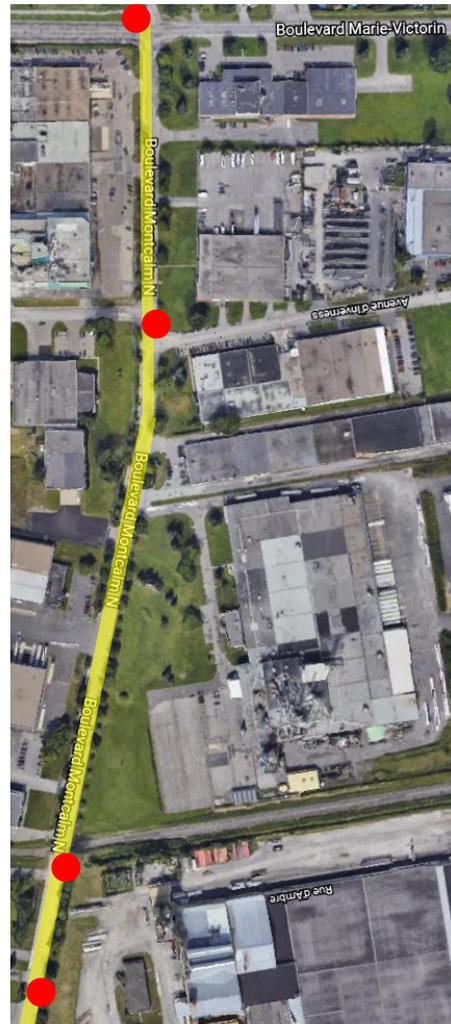
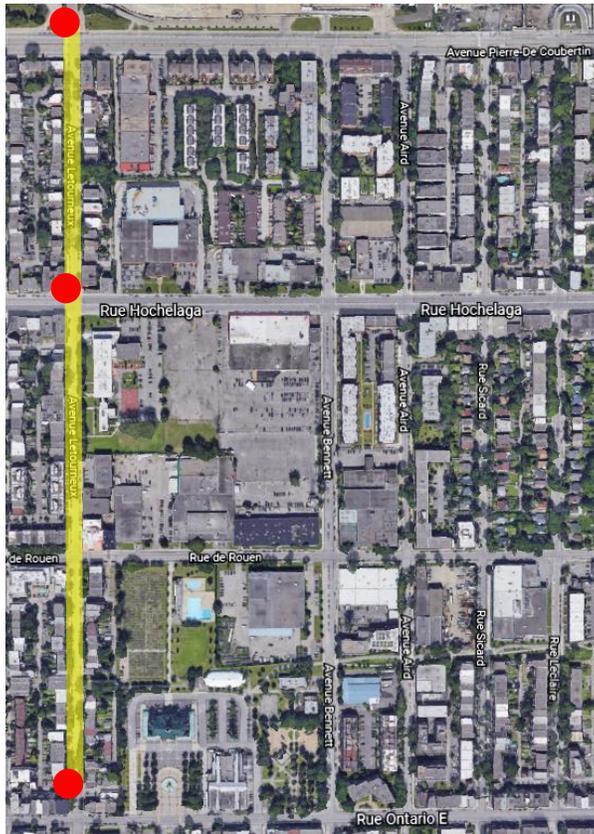


Figure 9 : Vue aérienne des sites de collecte (points rouges) à MHM (gauche) et Candiac (droite).

Source : Google Map, ajouts des auteurs, 2019.

Tableau 2 : Résumé des données vidéo collectées au site MHM et à Candiac

Site de collecte	Jour	Heures d'opération	Durée totale	Nombre de passages
Coubertin (MHM)	03/07	10h30-16h12 (≈6h00)	≈17h00	10
	11/07	10h40-17h41 (≈7h00)		72
	15/07	13h54-17h48 (≈4h00)		22
Hochelaga (MHM)	16/07	10h47-17h46 (≈7h00)	≈18h30	37
	22/07	13h05-17h52 (≈5h00)		15
	04/08	10h02-16h23 (≈6h30)		28
Ontario (MHM)	30/07	10h18-17h35 (≈7h30)	≈15h30	63
	31/07	10h17-17h56 (≈8h00)		62
Chartwell (Candiac)	27/11	12h35-15h27 (≈3h00)	≈7h30	21
	03/12	09h20-11h55 (≈2h30)		14
	16/12	10h00-11h56 (≈2h00)		13
	19/12*	09h34-10h05 (-)		-
Voie ferrée** (Candiac)	03/12	09h20-11h55 (≈2h30)	≈8h00	21
	16/12	10h00-11h56 (≈2h00)		18
	19/12	09h34-10h05 (≈0h30)		3
Inverness (Candiac)	29/11	13h05-15h00 (≈2h00)	≈09h30	13
	02/12	14h35-15h30 (≈1h30)		6
	04/12	09h30-10h10 (≈1h00)		7
	12/12	12h39-15h35 (≈3h00)		22
	17/12	09h52-11h58 (≈2h00)		13
Marie- Victorin** (Candiac)	29/11	13h05-15h00 (≈2h00)	≈09h30	17
	02/12	14h35-15h30 (≈1h30)		11
	04/12	09h30-10h10 (≈1h00)		6
	12/12	12h39-15h35 (≈3h00)		32
	17/12	09h52-11h58 (≈2h00)		26

* Défectuosité de la caméra, pas de données

** à ces sites, la navette est vraisemblablement conduite entièrement manuellement (par l'opérateur).

Les caméras utilisées sont des GoPro (modèle HERO3+), avec une carte microSD de 128GB, ainsi qu'une batterie portable de 10 000 mAh. Le choix de la source d'alimentation et du périphérique de stockage offre une autonomie d'un peu plus que 17 heures, ce qui est suffisant pour nos besoins. Lors des collectes, les caméras étaient placées sur un poteau télescopique et fixées sur un lampadaire (voir Figure 10). Étant donné que les lampadaires utilisés pour attacher notre poteau et notre caméra sont des infrastructures de la ville, une demande de permis « d'obstruction temporaire du domaine public » était envoyée la semaine précédente la collecte, et les permissions ont été obtenus sans problème (en raison du caractère peu intrusif de notre équipement). À la fin de chaque journée de collecte, les données vidéo enregistrées étaient transférées à partir de la carte microSD sur un disque dur (à Polytechnique). Les données extraites (trajectoires des usagers, interactions et leurs indicateurs) ont été stockées dans des bases de données au format SQLite. Ceci représente un peu plus de 50 GB de données qui ont permis de produire les résultats présentés plus loin dans ce rapport.



Figure 10 : Installation typique à Candiac sur le boulevard Montcalm

Source : photos prises par les enquêteurs, automne 2019

3.5.2. *Prétraitement des images vidéo*

L'annexe 4 présente les étapes préliminaires d'homographie nécessaire à l'extraction des trajectoires à partir des images vidéo. Ces étapes ont été faites à l'aide de l'outil disponible dans le projet sous licence libre « Traffic Intelligence » (Jackson et al. 2013). Cette annexe présente aussi l'optimisation de la détection des usagers de la route à l'aide de l'outil NOMAD (Audet et al. 2019 ; Bélisle et al. 2017) et la calibration de l'algorithme de classification des usagers, à partir de vidéos annotées manuellement.

Avant de passer à l'analyse de sécurité, les trajectoires des usagers sont regroupées, chaque groupe de trajectoire étant représenté par une trajectoire typique ou « prototype ». Les groupes représentent des ensembles de trajectoires similaires empruntées par les différents usagers. La Figure 11 présente un exemple de trajectoires prototypes (par couleur). Ces données servent, entre autres, à identifier les véhicules motorisés suivant un parcours similaire à ceux des navettes : ils sont appelés véhicules « témoins ». L'identification de ces véhicules témoins nous permettra de faire une analyse comparative entre les navettes et les véhicules conduits par des humains ayant des trajectoires semblables. Il est à noter que les navettes circulaient sur une voie exclusive sur l'avenue Pierre-de Coubertin et qu'elles effectuaient un virage très large sur la rue Letourneux. Conséquemment, étant donné que peu d'usagers motorisés avaient une trajectoire comparable, il a été décidé de considérer plus largement les usagers motorisés effectuant le même mouvement (virage) comme « témoins ».



Figure 11 : Exemple des prototypes extraits à l'intersection de Montcalm et Marie-Victorin

Finalement, les trajectoires ont été analysées pour extraire les interactions entre les usagers et ainsi calculer les indicateurs de sécurité. Des nettoyages particuliers ont été nécessaires pour certains sites. Par exemple, au coin de Montcalm et d'Inverness, le champ de la caméra couvrait l'horizon causant des erreurs importantes de projection des positions des usagers. Les trajectoires ont été coupées pour négliger les positions trop éloignées. Au moment de l'analyse de sécurité, les interactions entre véhicules dans les voies de circulation en sens opposé engendraient beaucoup de fausses alertes, étant donné qu'ils passent nécessairement près l'un de l'autre. Ces interactions, défini comme ayant des trajectoires majoritairement en sens opposé (plus de 150 degrés entre les directions de déplacement pour la majorité de l'interaction), n'ont pas été analysées.

3.5.3. *Présentations des indicateurs de sécurité retenus*

Deux types d'indicateurs ont été utilisés pour décrire les données, soit des indicateurs de circulation : la vitesse, l'accélération et les temps inter-véhiculaires ; et les indicateurs de sécurité, soit le temps à la collision et le temps post-empiètement. Ces indicateurs sont expliqués brièvement ici avant d'être calculé sur les images vidéo et interprété dans la section des résultats.

Vitesse et accélération

D'abord, la vitesse et l'accélération ont été choisies parce qu'ils offrent une mesure simple du comportement des conducteurs et de la navette. Ces données sont calculées à partir de la différence entre les positions à chaque image des usagers. Les données de vitesses ont ensuite été lissées avec le filtre de Savitzky–Golay. Les accélérations ont été obtenues à partir des données de vitesses filtrées avec le même filtre. Ces deux mesures sont ensuite agrégées par usager, ce qui implique que pour la trajectoire de chaque usager, la moyenne est calculée pour l'ensemble des données de vitesse et d'accélération.

Temps inter-véhiculaire (TIV)

Le temps inter-véhiculaire (TIV) entre les usagers permet d'évaluer les comportements de conduite en situation de poursuite et la sécurité. Cet indicateur permet de constater si les usagers se suivent de façon « serrée ». Cet indicateur est généralement mesuré en un point spécifique d'une route, mais peut être aussi mesuré de façon continue (pour toutes les positions d'un véhicule meneur à un instant t_1 , l'instant de passage t_2 du véhicule

suivant à la même position est calculé : voir Figure 12). Pour faciliter le calcul des TIV, les positions ont d'abord été projetées dans un système de coordonnées curvilignes sur un axe suivant le milieu de la voie de circulation. Le TIV est calculé selon les coordonnées longitudinales des véhicules en situation de poursuite. Les mesures 15^e centile (notées TIV_{15}) sont conservées pour l'analyse comparative.

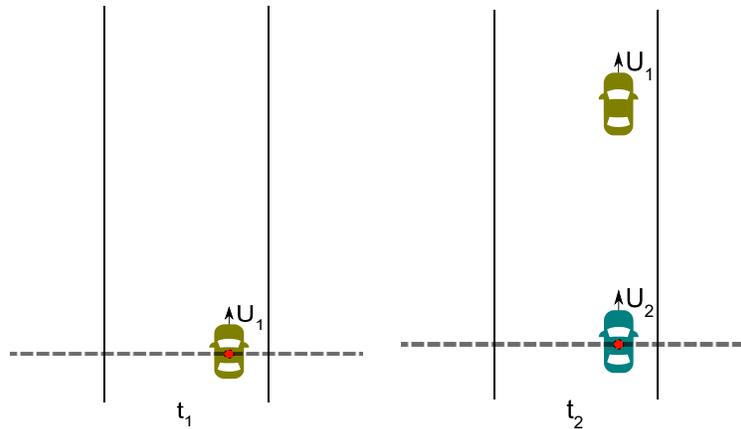


Figure 12 : Image illustrant le calcul du TIV (entre les instants t_1 et t_2 respectivement, t_2 correspondant au moment où la position du véhicule suivant atteint la position à l'instant t_1 du véhicule meneur)

Temps à la collision et temps post-empiètement

Deux indicateurs populaires sont généralement utilisés pour évaluer la sécurité des interactions des usagers, soit le « temps à la collision » (TTC, de l'anglais « time to collision ») et le « temps post-empiètement » (PET de l'anglais « post encroachment time ») (Laureshyn et al. 2016). Une interaction existe lorsque deux usagers de la route sont à proximité.

Le TTC est l'indicateur de sécurité des interactions le plus utilisé dans la littérature. Il est défini à chaque instant comme le temps avant qu'une collision se produise entre deux usagers si leur mouvement ne change pas (Hayward 1972). Dans le cadre de ce projet, une approche probabiliste de cette définition a été utilisée (Saunier, Sayed et Ismail 2010). Au lieu de considérer une seule trajectoire possible pour chaque usager, un ensemble de trajectoires possibles, avec leurs probabilités, sont utilisées pour déterminer si des points de collision potentielle existent pour deux usagers. Les trajectoires prototypes apprises à chaque site sont utilisées pour prédire les trajectoires possibles de chaque usager à chaque instant. Le TTC, ou plutôt son espérance, est calculé à chaque

instant t selon l'équation suivante pour deux usagers U_i et U_j . À noter que le 15^e centile des valeurs a été utilisé, comme pour la mesure TIV, pour déterminer la valeur minimale approximative.

$$TTC(U_i, U_j, t) = \frac{\sum_{1 \leq n \leq N_{CP}} P(\text{Collision}(CP_n)) t_n}{P(\text{Collision}(U_i, U_j))}$$

où, t_n est l'instant où les usagers entreraient en collision au point de collision potentielle CP_n , et $P(\text{Collision}(U_i, U_j))$ est la probabilité d'une collision entre U_i et U_j définie comme $P(\text{Collision}(U_i, U_j)) = \sum_{1 \leq n \leq N_{CP}} P(\text{Collision}(CP_n))$ où $P(\text{Collision}(CP_n))$ est la probabilité de collision en CP_n .

La Figure 13 illustre un cas typique à une intersection avec plusieurs usagers. Pour chaque interaction, les trajectoires possibles et leurs probabilités sont établies pour chaque usager impliqué. Chaque usager i peut avoir plusieurs trajectoires $H_{i,j}$. À chaque instant, les points de collision potentielle CP_n et les temps avant la collision associés t_n sont déterminés. Ces temps sont ensuite pondérés selon les probabilités de collisions aux différents points de collision. Il en résulte une série temporelle de valeurs du TTC pour chaque interaction entre deux usagers. Une valeur parmi les plus sévères est choisie pour représenter la sévérité de toute l'interaction : le 15^{ème} centile est utilisé dans notre travail pour éviter l'influence de valeurs extrêmes potentiellement aberrantes (St-Aubin, Saunier et Miranda-Moreno 2015).

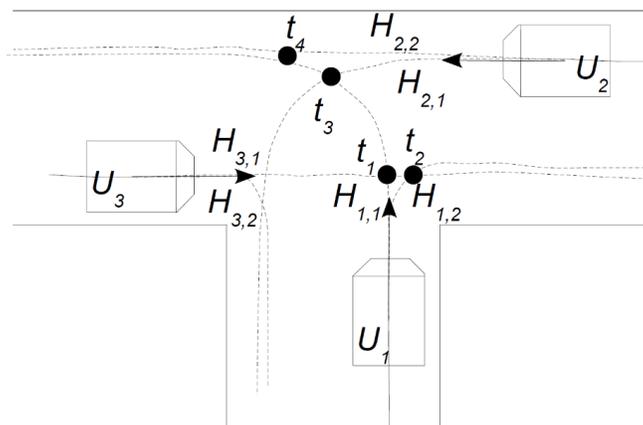


Figure 13 : Trois usagers avec leurs trajectoires possibles ($H_{i,j}$), les points de collision potentielle et temps à la collision t_k correspondants

Source : Saunier, Sayed et Ismail (2010)

La notion de temps post-empiètement (PET) fut introduite au début des années 80, pour évaluer les conflits de trafic et, par le fait même, la sécurité routière (Cooper 1983). Cet indicateur est depuis répandu dans la littérature. À la différence du TTC qui se mesure de façon continue, le PET est une valeur ponctuelle qui indique la durée séparant les instants de passage de deux usagers dans la zone où leurs trajectoires se chevauchent. La Figure 14 illustre le calcul du PET.

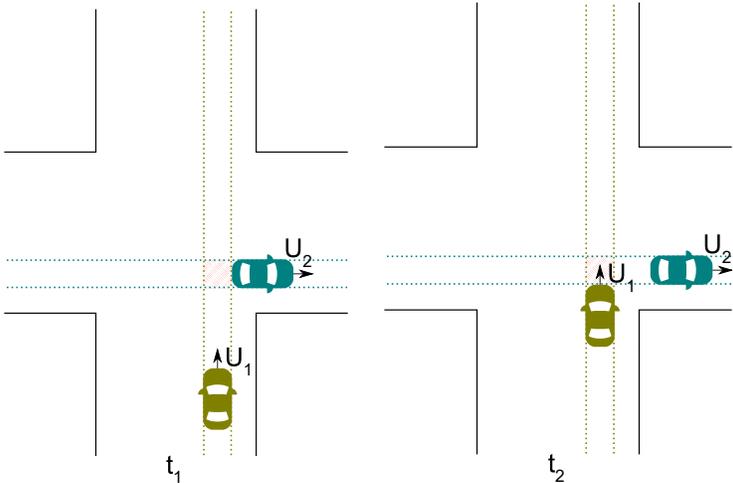


Figure 14 : Illustration des instants de départ et d'entrée dans la zone de chevauchement (hachurée) des trajectoires des deux usagers pour le calcul du PET

4. Résultats

4.1. Portrait des répondants

4.1.1. *Caractéristiques sociodémographiques des répondants (sur la rue et dans la navette) par rapport à la population de la CMM,*

Le

Tableau 3 présente les caractéristiques des répondants de nos échantillons. Nous avons interrogé 186 personnes sur la rue, dont 71,5% à Candiac (n=133) et le reste à Maisonneuve (n=53). Le nombre de répondants dans la navette, disponible seulement sur le site de Maisonneuve, est de 53 aussi. La parité homme/femme est respectée pour les répondants du premier questionnaire. Toutefois, il y a une plus de femmes (68%) qui ont répondu au questionnaire dans la navette. La proportion des répondants par groupe d'âge est assez semblable aux chiffres pour la communauté métropolitaine de Montréal dans le cas des questionnaires sur la rue, mais les 35 à 54 ans représentent près de la moitié des répondants dans la navette. La majorité des répondants sont des travailleurs à temps plein, respectivement à 45%, 53% et 47% de notre échantillon pour Candiac, Maisonneuve (sur la rue) et dans la navette, suivi des personnes retraitées à 36%, 25% et 21%. On observe que la majorité des répondants possèdent un diplôme universitaire (49%, 45%, 60%), des proportions beaucoup plus élevées que la majorité des citoyens de la communauté métropolitaine de Montréal ayant plus de 18 ans (25%).

Tableau 3 : Caractéristiques sociodémographiques des personnes interrogées sur rue et dans la navette à Maisonneuve et à Candiac

Caractéristiques	Questionnaire dans la rue		Questionnaire dans la navette	Communauté métropolitaine de Montréal
	Candiac (n=133)	Maisonneuve (n=53)	Maisonneuve (n=53)	
Genre				
Homme	47%	45%	32%	49%
Femme	53%	55%	68%	51%
Âge				
18 à 34 ans	21%	30%	9%	21%
35 à 50 ans	27%	26%	47%	21%
51 à 65 ans	22%	28%	26%	20%
66 à 74 ans	19%	8%	17%	9%
Plus que 75 ans	11%	8%	0%	9%
Situation emploi				
Travailleurs à temps plein	45%	53%	47%	-
Travailleur à temps partiel	10%	6%	15%	-
Étudiants	5%	11%	4%	-
Retraité	36%	25%	21%	-
Autre	4%	6%	13%	-
Niveau d'étude				
Pas de diplôme	2%	2%	4%	18%
Diplôme d'études secondaires	23%	21%	17%	35%
Diplôme d'études collégiales	22%	28%	15%	17%
Universitaire	49%	45%	60%	29%
Ne souhaite pas répondre	5%	4%	4%	

4.1.2. *Habitudes de mobilité des répondants et sentiment à propos de la mobilité sans conducteur*

Les questionnaires incluait trois questions reliées aux habitudes de mobilité des répondants (Tableau 4). Très peu de répondants ont répondu avoir une condition physique qui influence leur déplacement (de 5 à 11%) tandis qu'une forte proportion possède un permis de conduire, la plus élevée étant à Candiac (91%). Pour ce qui est des modes de déplacement les plus fréquemment utilisés par les répondants par semaine (plus d'une réponse était possible), nous observons une différence entre le site de Maisonneuve et celui de Candiac : près des trois quarts des répondants à Candiac se déplace en automobile (71%) contre seulement le quart à Maisonneuve (respectivement 24% dans la rue et 22% dans la navette). Les répondants de Maisonneuve utilisent

surtout les transports en communs (respectivement 37% dans la rue et 44% dans la navette) et la marche (26% dans les deux questionnaires). Ce résultat n'est pas étonnant en raison du type de milieu urbain dans lesquels les questionnaires ont été répondus.

Tableau 4 : Habitudes de mobilité des répondants

Caractéristiques	Questionnaire dans la rue		Questionnaire dans la navette
	Candiac (n=133)	Maisonneuve (n=53)	Maisonneuve (n=53)
Condition physique qui influence le déplacement			
oui	5%	11%	9%
non	95%	89%	91%
Permis de conduire			
oui	91%	70%	72%
non	9%	30%	28%
Mode de déplacement le plus fréquemment utilisé			
Auto	71%	24%	22%
Transport en commun	7%	37%	44%
Marche	14%	26%	26%
Vélo	7%	12%	7%
Transports partagés (bixi, communauto, etc.)	1%	1%	0%
Sentiment par rapport à la mobilité sans conducteur			
Très pessimiste ou pessimiste	8%	13%	-
Neutre	23%	17%	-
Optimiste ou très optimiste	66%	70%	-

Lorsqu'interrogés sur la mobilité sans conducteur en général (dernière catégorie du Tableau précédent), nos répondants sont majoritairement favorables à son utilisation. En effet, 66% des répondants à Candiac et 70% à Maisonneuve étaient soit « optimiste » ou « très optimiste » par rapport à cette technologie. Dans le même sens, 74% des personnes interrogées dans les deux villes utiliseraient une navette automatisée si elle était présente sur certains de leurs trajets. Seuls 8% (Candiac) et 13% (Maisonneuve) des répondants se sont montrés « pessimistes » ou « très pessimistes » tandis que 23% (Candiac) et 17% (Maisonneuve) sont restés neutres.

Lorsque nous avons posé la question aux participants aux groupes de discussion, tous ont affirmé leur optimisme pour ce genre de mode de déplacement. Une participante de Candiac a affirmé : « oui et j'espère qu'il va prendre de l'ampleur puis qu'on va voir ça rapidement s'implanter ». Les participants de l'INRS (plus jeunes), bien qu'ils soient optimistes, ne considèrent pas une telle navette comme un premier choix dans leur

« cocktail transport » en raison de sa lenteur et des petits trajets qu’elles empruntent. Ainsi, ces participants ont dit qu’ils l’essaieraient par curiosité : « *considérant la distance que ça parcourt euh... je pense pas que ça vaut la peine, je peux l’essayer par curiosité, mais je pense pas que ...j’en ferais un emploi quotidien* ». Par ailleurs, presque tous les participants ont dévoilé qu’ils n’auraient pas peur de prendre la navette, alors que certains avouent être « un peu inquiets » à la première utilisation. Des participantes de Candiac résument les propos généraux dans cet échange :

- Q : Auriez-vous peur de prendre une telle navette?
 « *NON ! pourquoi ? NON ! ... je suis très curieuse moi, tout ce qui est nouveau je veux voir ça...* » (participante B-1)
 « *moi non plus ! Si c’est sans conducteur, c’est parce qu’il y a un bon fonctionnement* » (participante B-2)
 « *pas du tout* » (participante B-3)
 « *la première fois je serais peut-être inquiète et après ça y est* » (participante B-4)

4.1.3. **Perception et familiarité avec le quartier (données collectées sur la rue)**

Deux questions nous permettent de connaître les perceptions et la familiarité des répondants avec le quartier dans lequel les navettes effectuaient leur trajet. Le Tableau 5 ne présente que les choix de réponses positives, soit « d’accord » et « totalement d’accord » à des fins de simplification du tableau. On y constate que plus de 80% des répondants estiment qu’il est agréable et sécuritaire de marcher dans cet environnement. Ces proportions diminuent lorsqu’il est question de traverser à l’endroit où nous les avons interrogés : seulement deux tiers des répondants de Candiac et trois quarts de ceux de Maisonneuve estiment qu’il est facile de traverser. Finalement, bien que peu de répondants estiment qu’il est dangereux de traverser dans cet environnement, la proportion est presque trois fois plus élevée à Candiac (14%) qu’à Maisonneuve (5%). Pour ce qui est de la familiarité et de la fréquentation du quartier par les répondants, près de la moitié y habitent dans les deux cas (43% à Candiac et 47% à Maisonneuve). La proportion des répondants qui y travaillent est plus grande à Maisonneuve (43%), et celle des répondants qui y viennent pour le loisir ou autres (vélo, course) est plus élevée à Candiac (31%).

Tableau 5 : Perception et familiarité avec le quartier

Caractéristiques	Questionnaire dans la rue	
	Candiac	Maisonneuve

	(n=133)	(n=53)
Perception du quartier où se situe le trajet de la navette*		
Il est <i>agréable</i> de marcher dans cet environnement	80%	85%
Il est <i>sécuritaire</i> de marcher dans cet environnement	81%	85%
Il est <i>facile</i> de traverser à cet endroit	66%	75%
Il est <i>dangereux</i> de traverser à cet endroit	14%	5%
Familiarité des répondants du quartier où se situe le trajet de la navette**		
Le répondant y habite	43%	47%
Le répondant y travaille	23%	43%
Le répondant y fait des courses	11%	6%
Le répondant y vient pour le loisir ou autres	31%	13%

*Ces proportions sont pour les choix *totalemment d'accord* et *d'accord* de l'échelle de Likert proposée.

**Plus d'une réponse possible, n=58 à Maisonneuve et n=142 à Candiac lorsqu'on regarde les réponses multiples

4.2. Connaissance des projets-pilotes et interaction avec les navettes selon les répondants sur la rue et les groupes de discussion

4.2.1. Connaissance et appréciation du projet pilote

Une proportion importante des répondants sur la rue à Candiac et Maisonneuve connaissaient le projet- pilote de navette automatisée : 62% à Maisonneuve et 64 % à Candiac. Les répondants des deux sites ont majoritairement pris connaissance des projets en voyant le véhicule circuler sur la rue (34%), via les médias (28%) ou par le biais de panneaux informatifs (22%). La part des personnes ayant pris connaissance des projets par des proches ou les réseaux sociaux reste faible (respectivement 10% et 6%) (Figure 15). Par ailleurs, seulement 6% des répondants sur la rue, que ce soit à Montréal ou à Candiac, l'ont utilisée et tous ces utilisateurs ont affirmé avoir apprécié leur expérience au sein de la navette lorsqu'interrogés.

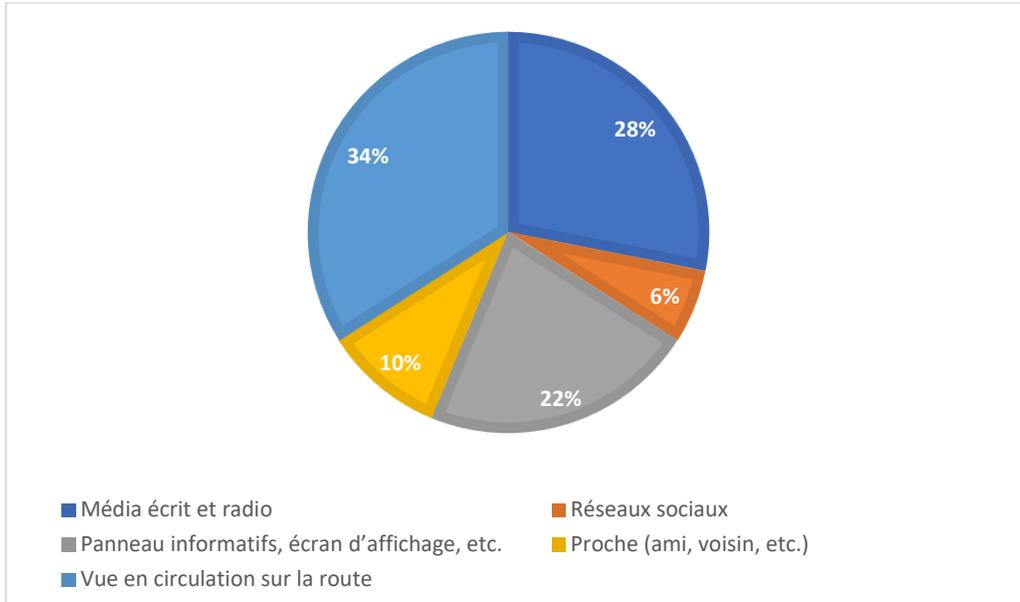


Figure 15 Source d'information pour la connaissance du projet- pilote des répondants

(plusieurs réponses possibles, répondants sur la rue : Maisonneuve n=38, Candiac n=94 et répondants dans la navette n= 53)

4.2.2. *Interaction avec la navette*

Près de la moitié des répondants de Candiac (47%) et 64% de ceux de Maisonneuve ont affirmé avoir remarqué la présence de la navette sur la rue. À Montréal, un quart (24%) de ces répondants ont été en interaction avec la navette en tant que piéton mais aucun d'entre eux n'a répondu avoir modifié son comportement durant cette interaction. À Candiac, une plus grande proportion des répondants a été en interaction avec la navette (40%), dont une grande majorité en tant que conducteur (76%), mais certains l'ont croisée en tant que cyclistes (8%) ou piétons (16%). Contrairement au site Maisonneuve, 20% des répondants qui ont été en interaction avec la navette à Candiac affirment avoir modifié leurs comportements à ce moment, pour diverses raisons. Par exemple, ils ont ralenti afin de s'assurer d'avoir été vu par l'opérateur, ils ont fait plus attention face à ce nouveau mode de déplacement, ou ils ont dépassé la navette en raison du fait qu'elle roule très lentement.

Groupes de discussion

En demandant aux participants des groupes de discussion s'ils changeraient de comportements, en tant que piéton, cycliste ou automobiliste, face à la navette automatisée, la plupart ont déclaré que cela n'aurait aucun effet sur leur comportement en tant qu'usagers de la route, alors que leurs propos au fil de la conversation tendent à prouver le contraire. Par exemple, la majorité (4 sur 5 participants) du groupe de l'INRS perçoivent la navette comme toutes les autres voitures : « *En tant que cycliste, je garderai mes distances, comme je garderais mes distances avec une voiture ... je garde mes distances, je la dépasse* », témoigne un des étudiants. Une autre étudiante rajoute « *ben [bien] je la regarderais et après comme une auto là ! tu regardes la vitesse si ça va pas vite, tu passes sinon euh [en réfléchissant] ... comme un autre véhicule* ». Ces personnes ont affirmé que le contact visuel n'est pas une priorité pour eux. Une seule personne a déclaré qu'il changerait son comportement en traversant la rue : « *je pense que je ferai plus attention à la navette qu'à la voiture ... en tant que piéton ... traverser plus loin* ».

Le groupe de participantes de Candiac a aussi affirmé le non-changement de leurs comportements, comme l'atteste une enseignante retraitée : « *non, ça va rien changer ! elle est sécuritaire et moi je suis supposée savoir conduire aussi sur la route* ». Une autre participante piétonne a aussi affirmé « *moi je ne conduis pas je sais pas conduire, mais par contre... euh [elle réfléchit] ... non y'aura aucun effet [sur mon comportement]* ».

Ainsi, certains participants du groupe de l'INRS ont mentionné que les automobilistes auront possiblement plus tendance à ne pas respecter les règles, vu que la navette roule très lentement. Cela a été aussi affirmé par la majorité des participants de la maison de retraite qui ont insisté sur la réaction des automobilistes, plutôt que celle des piétons ou des cyclistes. Selon eux, les conducteurs ne vont pas respecter les règles : « *les automobilistes ne sont pas patients... ils vont la dépasser [la navette]* », atteste une des résidentes. Une autre rajoute que les conducteurs « *vont la contourner* ». Ces propos font écho à la section suivante.

4.3. Perception de la sécurité des usagers de la route et du respect des règles en présence de la navette

Les participants sur la rue (n=186, Maisonneuve=53 et Candiac=133) et dans la navette (Maisonneuve=53) ont répondu à des questions en lien avec leurs perceptions de la sécurité routière et du respect des règles en présence de la navette pour les principaux usagers de la route, c'est-à-dire les piétons, les cyclistes et les automobilistes.

4.3.1. *L'effet potentiel de la navette sur la sécurité des piétons, des cyclistes et des occupants de véhicules*

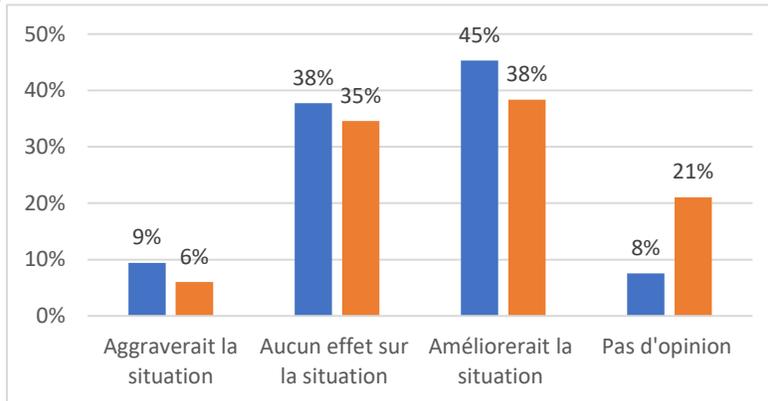
Près de la moitié (45%) des répondants de Maisonneuve et 38% de ceux de Candiac ont affirmé que la navette automatisée pourrait améliorer la sécurité des piétons, alors qu'une minorité des répondants (9 % à Maisonneuve et 6% à Candiac) a déclaré le contraire, c'est-à-dire qu'ils estiment que la navette pourrait aggraver la sécurité des piétons (Figure 16a). Presque le même pourcentage de répondants de Maisonneuve (37,7%) et de Candiac (34,6%) estime que la navette n'aura aucun effet sur la sécurité des piétons. Notons qu'un répondant sur cinq (21%) de Candiac n'avait pas d'opinion sur ce sujet, comparée à seulement 7 % à Maisonneuve.

La Figure 16b montre que presque autant de répondants pensent que la navette automatisée pourrait améliorer la sécurité des cyclistes (40% à Maisonneuve et 34% à Candiac) qu'il y en a qui estiment qu'elle n'a aucun effet sur cette situation (38 % à Maisonneuve et 34% à Candiac). Peu de répondants ont affirmé que la navette pourrait aggraver la sécurité des cyclistes (15% à Maisonneuve et 10% à Candiac), mais c'est tout de même plus élevé que pour les piétons ci-haut. Comme pour les piétons, un répondant sur cinq (22%) de Candiac n'avait pas d'opinion sur ce sujet, comparée à seulement 8 % à Maisonneuve.

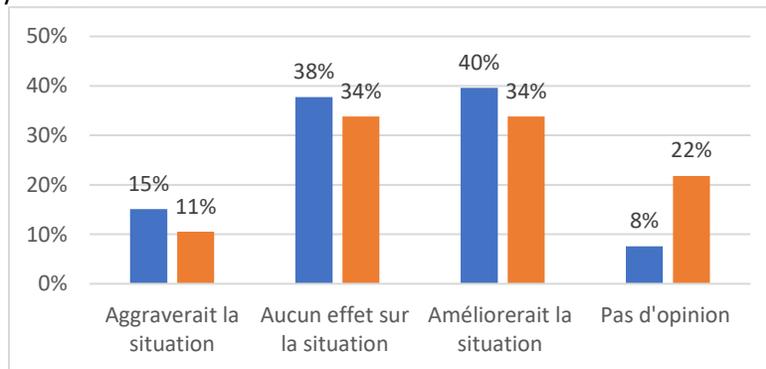
Comme dans le cas des piétons et des cyclistes, la majorité des répondants de Maisonneuve (38%) et de Candiac (36%) pense que la navette automatisée pourrait améliorer la sécurité des véhicules ou qu'elle n'aurait aucun effet sur cette situation (42 % à Maisonneuve et 35% à Candiac), le pourcentage de Maisonneuve étant plus élevé ici que pour les piétons et les cyclistes (Figure 16c). À l'inverse, une minorité des répondants ont affirmé que la navette pourrait aggraver la sécurité des véhicules (11% à Maisonneuve et 8% à Candiac). Comme dans le cas des piétons et des cyclistes, 21%

des répondants n'ont aucune opinion par rapport à cette situation à Candiac et 9% à Maisonneuve.

a) piétons



b) cyclistes



c) occupants de véhicules

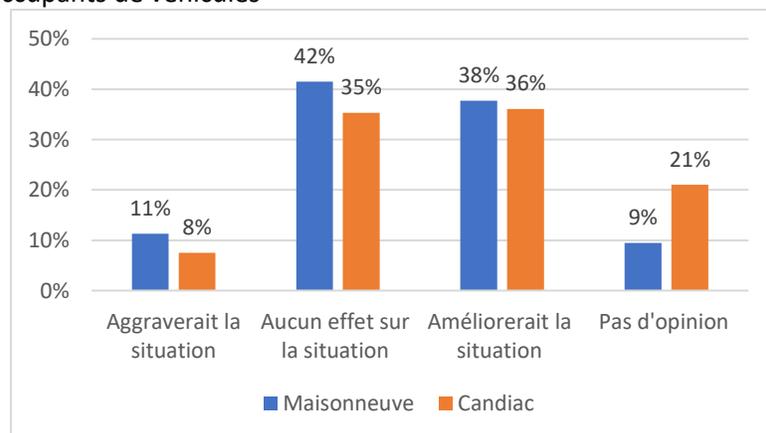


Figure 16 : la perception des répondants par rapport à l'effet de la navette sur la sécurité des usagers de la route

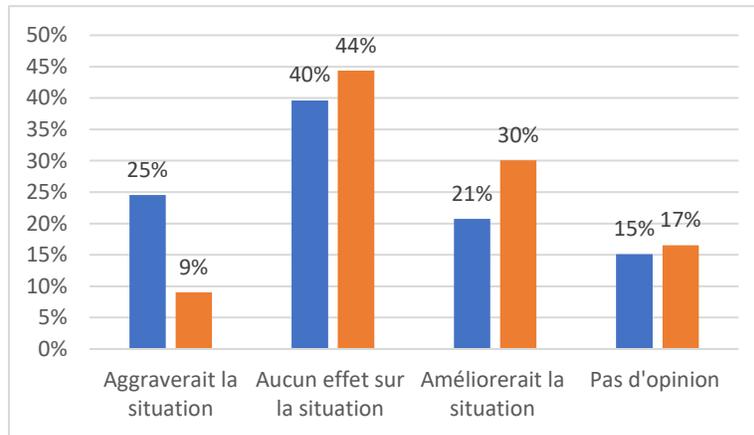
4.3.2. *L'effet potentiel de la navette sur le respect des règles par les piétons, les cyclistes et les conducteurs*

La majorité des répondants pensent que l'introduction d'une navette sans conducteur n'aura aucun effet sur le respect des règles par les piétons (Figure 17a). Par ailleurs, la différence de pourcentage est notable entre Maisonneuve (21%) et Candiac (30%) pour ceux qui pensent que la navette améliorerait le respect des règles chez les piétons. De plus, trois fois plus de répondants à Maisonneuve (25%) qu'à Candiac (9%) affirment que l'introduction de cette navette réduirait le respect des règles par les piétons. Finalement, contrairement aux questions précédentes sur la sécurité, nous remarquons une égalité dans les proportions de répondants qui n'ont aucune opinion.

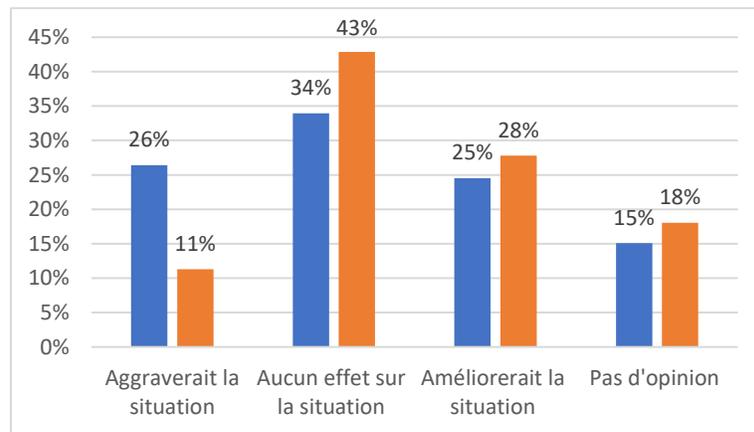
Comme dans le cas des piétons, la majorité des répondants de Maisonneuve et de Candiac ont affirmé que l'introduction de la navette automatisée n'aura aucun effet sur le respect des règles par les cyclistes. Cependant, entre Maisonneuve et Candiac, la différence sur cette réponse est un peu plus importante que celle concernant les piétons (33,9% à Maisonneuve et 42,8% à Candiac) (Figure 17b). Un quart des répondants de Maisonneuve (24,5%) et un peu plus d'un quart de ceux de Candiac (27,8%) perçoivent que la navette pourrait améliorer le respect des règles par les cyclistes. Comme dans le cas des piétons, peu de répondants de Candiac (11,2%) pensent que la navette automatisée pourrait aggraver le respect des règles par les cyclistes, contrairement à ceux de Maisonneuve dont le pourcentage des répondants est plus élevé (26,4%). La différence entre les répondants de Maisonneuve et Candiac qui n'ont pas d'opinion concernant cette situation est faible (15% à Maisonneuve et 18% à Candiac).

Comme dans le cas des piétons et des cyclistes, le tiers des répondants de Maisonneuve (34%) et plus de 40% de ceux de Candiac (42%) ont affirmé que la présence de la navette sur la route n'aura aucun effet sur le respect des règles par les conducteurs (Figure 17c). À Candiac, 33% des répondants ont répondu que la navette pourrait améliorer le respect des règles par les automobilistes, alors que cette proportion s'élève à seulement 26,5% des répondants de Maisonneuve. Finalement, un quart des répondants de Maisonneuve (24,5%) pensent que la navette pourrait aggraver le respect des règles, contre seulement 9% des répondants de Candiac. Nous remarquons une égalité des pourcentages des répondants qui n'ont enregistré aucune opinion à Maisonneuve (15%) et Candiac (15,8%).

a) piétons



b) cyclistes



c) conducteurs

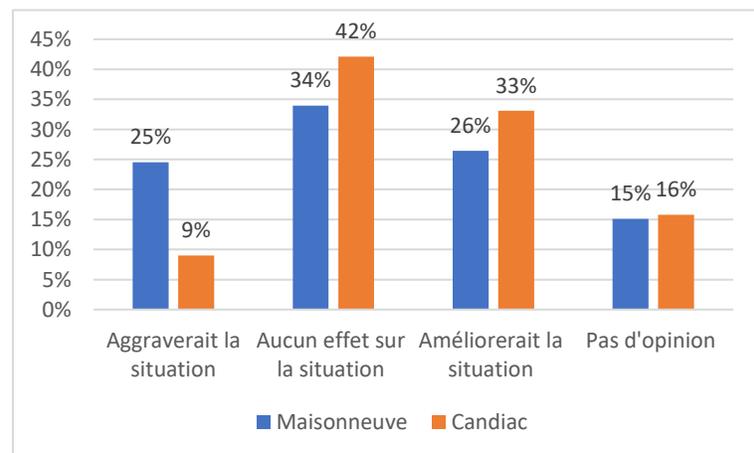


Figure 17 : Perception des répondants par rapport à l'effet de la navette sur le respect des règles par les usagers de la route

4.4. La perception des gens interrogés dans la navette par rapport à la sécurité des usagers de la route

La Figure 18 présente la perception des utilisateurs de la navette par rapport au risque de collision avec les différents usagers de la route : piéton, cycliste et automobiliste. La quasi-totalité des utilisateurs de la navette ont répondu qu'il n'y avait peu (de 51% à 58% selon le type d'usager) ou pas (de 34% à 42%) de risque de collision entre la navette et les différents usagers de la route (piétons, cycliste et automobilistes). Les proportions des répondants estimant qu'il y a un « grand risque » sont semblables pour les piétons et les automobilistes (respectivement 6 et 8%), mais plus élevé pour les cyclistes (13%). Aucune personne n'a répondu qu'il existe un « très grand risque » pour chacune de ces situations.

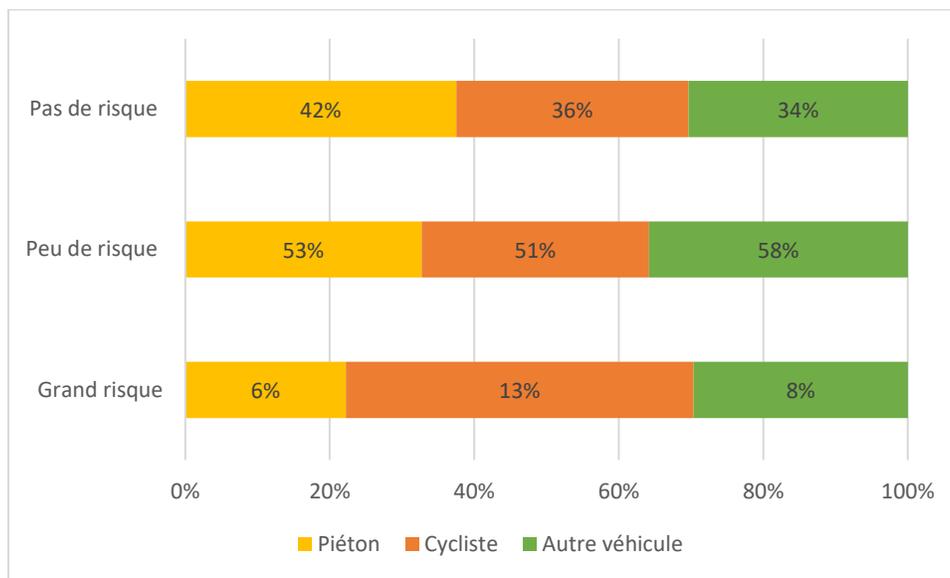


Figure 18 : Perception des répondants du risque de collision entre la navette et les usagers de la route (piétons, cycliste et autre véhicule).

4.5. Perception des avantages et défis liés à la navette selon les répondants (sur la rue et dans la navette) et les groupes de discussion

Dans le but de mieux comprendre les perceptions des répondants et usagers de la navette sur divers avantages et défis que l'on attribue aux navettes automatisées, nous avons posé deux questions dans le questionnaire sur la rue et dans la navette puis nous avons discuté de ces thèmes lors des deux groupes de discussion.

4.5.1. *Avantages potentiels des navettes automatisées*

Tout d’abord, cinq avantages ont été présentés aux répondants pour avoir leur niveau d’accord à partir d’une échelle de Likert en 4 points : en total désaccord, en désaccord, d’accord, totalement d’accord). Le Tableau 6 présente les proportions des deux dernières catégories (d’accord et totalement d’accord). L’avantage qui suscite le plus d’accord dans les trois sous-groupes de participant est celui de l’environnement (moins de pollution et de bruit) : plus de 90% des répondants estiment que cela représente un avantage des navettes automatisées. Notons que cet avantage est lié au fait que ce soit des véhicules électriques, et non pas automatisés. Le second est celui suggérant une augmentation la mobilité des personnes âgées et en incapacité (de 77% à 94% des répondants), avec une plus forte proportion sur la rue à Maisonneuve. Finalement, l’avantage qui suscite le moins d’intérêt est celui de la sécurité routière avec seulement le tiens des répondants étant en accord sur la rue, et moins de la moitié dans la navette.

Tableau 6 : Proportion en accord (d’accord et totalement d’accord) avec les différents avantages de la navette automatisée

Variables	Répondants sur la rue		Répondants dans la navette
	Maisonneuve (n=53)	Candiac (n=133)	Maisonneuve (n=53)
Accroître la sécurité en réduisant le nombre d’accidents de la route	31%	35%	47%
Réduire la congestion	51%	43%	49%
Augmenter la mobilité des personnes âgées et en incapacité (personnes à mobilité réduite)	94%	77%	89%
Augmenter la mobilité dans le quartier	74%	73%	87%
Environnement (moins de pollution et de bruit)	94%	92%	96%

Groupes de discussion

Les deux groupes de discussion ont permis de comprendre que les avis sont très partagés quant aux avantages des navettes automatisées. L’aspect de sécurité routière, tout comme dans les questionnaires, ne fait pas l’unanimité au sein des deux groupes. Certains participants ne voient pas de potentiel d’amélioration ni de détérioration du

bilan routier en raison du peu de gens qui sont transportés dans ces navettes. Les citations suivantes résument ce point :

« je pense pas qu'il y a un impact sur [en parlant de la sécurité routière] ... ben [bien] vu la vitesse avec laquelle ça va, vu le nombre de personnes qui peuvent l'utiliser, je pense pas que ça améliore ou rend encore plus difficile [la sécurité routière] » (participante A-1).

« ça va pas changer grand-chose sur la sécurité routière là... à moins que toute devienne autonome, mais une navette autonome dans une ville, ça va pas changer la ville... ça va pas avoir un impact significatif » (participante B-2)

Justement en raison de la vitesse (trop lente, ce qui entraîne des frustrations), quelques participants, moins nombreux, estiment que ces navettes pourraient avoir un effet négatif sur la sécurité des usagers de la route tandis que d'autres, à l'opposé, estiment que la navette ralentira possiblement tout le trafic et aura ainsi un effet positif sur la sécurité routière. Plusieurs participants sont aussi d'accord sur l'impact possible des navettes sur la congestion et le temps de transport plus long, mais ne relient pas nécessairement ce point avec la sécurité routière :

« et si elle n'a pas sa voie ! ça peut encombrer, ça peut ralentir la circulation » (participante B-2).

« cette navette-là est plus lente ... tout ça donc ça va pas améliorer le trafic ... puis tu vas pas prendre la navette en disant je vais arriver plus vite à [une] destination avec la navette ! ça, c'est pas vrai » (participante B-3).

« c'est toujours par rapport à la vitesse aussi... ça pourrait créer de la congestion » (participant A-4).

L'effet positif potentiel pour les personnes à mobilité réduite fait clairement l'unanimité dans les deux groupes de discussion. Les participantes de Candiac ont d'ailleurs souligné qu'une telle navette favoriserait possiblement la mobilité de tous les résidents de leur maison de retraite dont certaines d'entre eux *« se sentent prisonnières »* selon les mots d'une d'entre elles.

Finalement, l'effet potentiel sur l'environnement a été minimisé par certains, notamment en raison de la congestion potentielle citée plus haut : *« ben [bien] si t'as dix voitures à essence derrière ben [bien] euh...c'est pas bon pour l'environnement »*.

(participante A-5). Dans le même sens, deux participantes ont rapporté le dilemme des voitures électriques, moins polluantes sur la route, mais très polluantes à court terme en raison, entre autres, de la fabrication des batteries, annulant ainsi les effets (ni positif ni négatif).

4.6. Défis prioritaires liés à l'introduction des véhicules automatisés sur les routes (questionnaire sur rue et groupes de discussion)

En plus des cinq avantages discutés précédemment, quatre défis prioritaires ont été présentés aux répondants pour avoir leur niveau d'accord à partir de la même échelle de Likert en 5 points, ramené en trois catégories dans le

Tableau 7 : *en désaccord* (incluant totalement en désaccord), *moyennement d'accord* et *d'accord* (incluant totalement d'accord).

À la fois sur le site de Maisonneuve et celui de Candiac, ce sont les interactions avec les autres véhicules et celles avec les piétons et les cyclistes qui ont les plus grandes proportions d'accord avec l'importance de ces deux défis, à respectivement 74% et 63% pour le premier défi et 68% et 62% pour le second (Figure 19). La sécurité informatique préoccupe presque autant de répondants dans les deux sites (60% à MHM et 54% à Candiac) tandis que le défi de la perte d'emploi a été mis en priorité par le tiers des répondants à Candiac et 43% à Maisonneuve.

Tableau 7 : Proportion des répondants (sur rue) selon leur degré d'accord aux défis prioritaires relatifs aux navettes automatisées

Défis prioritaires	Maisonneuve (n=53)	Candiac (n=133)
Interaction avec les usagers vulnérables (piétons, cyclistes)		
<i>En désaccord</i>	11%	19%
<i>Moyennement d'accord</i>	11%	9%
<i>D'accord</i>	68%	62%
<i>Pas d'opinion</i>	9%	11%
Interaction avec les autres véhicules		
<i>En désaccord</i>	11%	16%
<i>Moyennement d'accord</i>	8%	11%
<i>D'accord</i>	74%	63%
<i>Pas d'opinion</i>	8%	11%
Sécurité informatique		
<i>En désaccord</i>	15%	17%
<i>Moyennement d'accord</i>	11%	12%
<i>D'accord</i>	60%	54%
<i>Pas d'opinion</i>	13%	17%
Perte d'emploi		
<i>En désaccord</i>	32%	40%
<i>Moyennement d'accord</i>	21%	18%
<i>D'accord</i>	43%	36%
<i>Pas d'opinion</i>	4%	6%

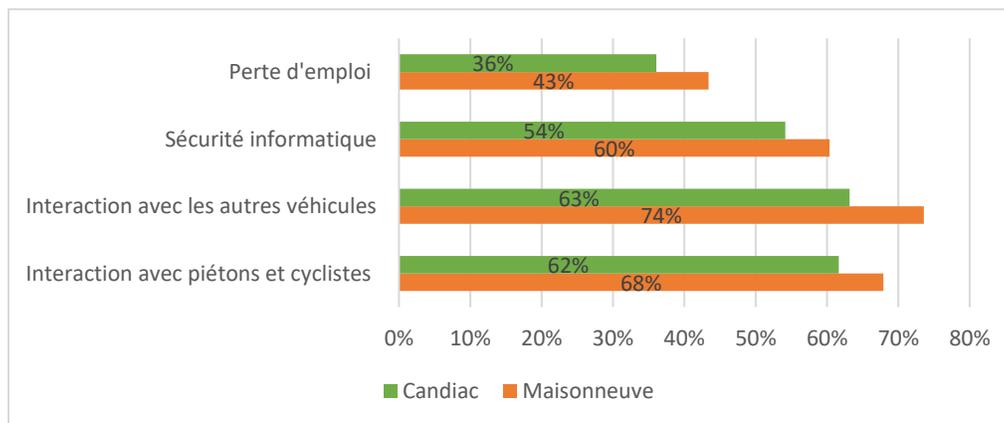


Figure 19 : Proportion des répondants en accord avec les défis prioritaires liés à l'implantation de navettes automatisées

Tout comme pour les répondants au questionnaire sur rue, les participants aux groupes de discussion ont mis les défis des interactions avec les automobilistes et les usagers vulnérables assez haut en importance tandis que les deux groupes n'ont pas mis beaucoup d'importance sur le défi de la perte d'emplois. Le groupe de Candiac se démarque en ayant aussi mis en priorité la sécurité informatique :

« Moi je penserais que la sécurité informatique ! il faut que la navette soit sécuritaire et tout le reste découle de ça... pour moi! ». Elle explique, « si quelqu'un de l'extérieur peut pi...pi...pirater l'informatique de la navette, il peut la détourner... l'empêcher de voir les piétons, de bien fonctionner ! Tsé (tu sais) si elle est autonome, il faut qu'elle fonctionne bien ! euh... il faut pas que quelqu'un puisse l'affecter de l'extérieur ... tsé (tu sais) ».
(participante B-2)

En plus des quatre défis présents dans le questionnaire sur rue, les groupes de discussion ont permis d'ajouter trois critères d'acceptabilité nécessaire pour qu'ils deviennent des usagers de telles navettes automatisées, à savoir l'adaptabilité selon les saisons (les navettes ne peuvent rouler l'hiver pour l'instant), le choix du trajet, la fréquence et la fiabilité du service ou encore la présence d'un opérateur (uniquement dans le groupe de l'INRS), comme dans les citations suivantes :

« moi(...), ça serait l'absence d'opérateur ... par ce que je trouve que ça peut intervenir sur les autres aspects : sécurité routière euh [il réfléchit] ... ou le choix du trajet euh donc ça me sécurise s'il y a quelqu'un à bord justement, même si la sécurité informatique peut faire une influence y'a pas un problème [en présence d'un opérateur]» (participant A-3).
«si c'est un trajet qui m'intéresse pas, ben [bien] je la [la navette] prendrai pas » (participant A-4).

4.7. Expérience des usagers dans la navette

Cette section présente les réponses données par les 53 usagers de la navette de Maisonneuve qui ont été interrogé lors de leur parcours, en plus des participants du groupe de discussion à Candiac qui ont utilisé la navette (n=2 sur 5).

4.7.1. Lieux d'origine, de destination et motifs pour l'utilisation de la navette automatisée

Plus des trois quarts des usagers de la navette que nous avons interrogé ont leur domicile (41%) ou un lieu de loisir (36%) comme origine de leurs déplacements (Figure 20). Ce sont ces mêmes lieux qui sont les destinations les plus fréquentes (19% pour la maison et 49% pour le loisir), en plus des autres destinations (19%) qui nous ont été rapportées, comme de tester la navette, d'aller faire les courses ou encore d'aller à la garderie.

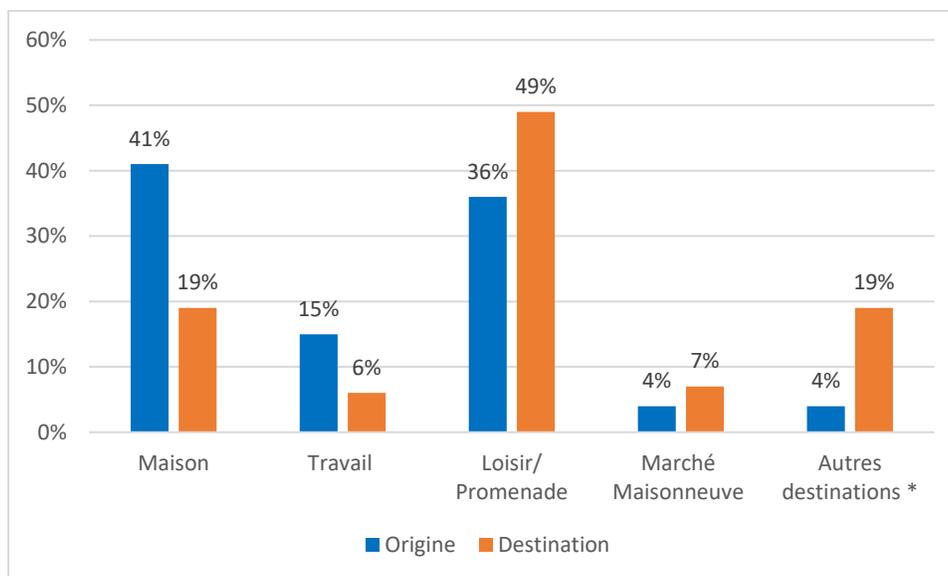


Figure 20 : Proportion des répondants selon l'origine et la destination des usagers de la navette de Maisonneuve (n=53)

*Les autres destinations sont : tester la navette, faire des courses, garderie, etc.

L'enquête auprès des usagers de la navette a révélé que la majorité des participants (69%) l'ont utilisée par *curiosité*. Ainsi plusieurs personnes ont affirmé leur impatience de tester ce nouveau moyen de transport. Plusieurs répondants sont aussi venus spécialement pour tester la navette après l'avoir aperçue sur la rue ou en avoir entendu parler (panneaux d'affichage, amis, etc.). Par ailleurs, 21% des utilisateurs abordés l'ont utilisé en raison de son *utilité* : pour se rendre au marché Maisonneuve ou à la piscine et 9% l'on fait par « opportunisme » (*commodité*), par exemple en temps de pluie ou de forte chaleur (la navette est climatisée). Quant à la présence d'un opérateur, elle n'a motivé qu'un seul de nos répondants (sur 53) à tester la navette.

4.7.2. *Satisfaction des usagers de la navette*

La satisfaction des usagers de la navette Maisonneuve a été évaluée à travers huit sous-thèmes, qui avaient tous une échelle de Likert en 5 points, que nous avons réduits à trois catégories : satisfaits, moyennement satisfaits et insatisfaits. Le recodage s'est fait en s'assurant d'avoir les réponses les plus satisfaisantes d'un côté (selon le terme utilisé dans la question d'origine) et les moins satisfaisantes de l'autre, et la réponse « 3 » comme étant « moyennement satisfaisant ». Le

Tableau 8 présente les correspondances entre les questions d'origine (par thème) et le recodage tandis que la Figure 21 illustre les proportions des utilisateurs pour les trois catégories finales.

Les usagers de la navette ont témoigné en général d'une bonne satisfaction par rapport à leur expérience. Ainsi, 94% des usagers se sont sentis en sécurité ou très en sécurité à bord de la navette et près de la totalité (98%) ont été satisfaits ou très satisfaits de la courtoisie de l'opérateur (Figure 21). La majorité des participants ont aussi trouvé la navette confortable ou très confortable durant le trajet (87%).

Quant aux éléments sur lesquels les usagers ont témoigné une moindre satisfaction, la vitesse est l'élément qui revient le plus : 42% des répondants ont trouvé la navette lente ou très lente. D'ailleurs, plusieurs répondants affirment qu'ils auraient pu faire le trajet en moins de temps s'ils avaient marché. De fait, les arrêts répétés de la navette dus à la sensibilité des capteurs et au trafic diminuent considérablement sa vitesse moyenne. Les répondants étaient aussi insatisfaits de l'horaire de service (28%) : les usagers ont soulevé des problèmes liés au fonctionnement de l'application relative au trajet et aux horaires de passage de la navette. Enfin, près du quart des répondants (23%) n'étaient pas satisfait de la durée du trajet, un thème relié à celui de la vitesse.

Tableau 8 : Correspondances entre les questions d'origine (par thème) et le niveau de satisfaction

Thème	Question posée	Catégories de satisfaction				
		Satisfaits		Moyenne-ment satisfaits	Insatisfaits	
Sentiment de sécurité à bord de la navette	Est-ce que vous considérez la navette...	Très sécuritaire	Sécuritaire		Peu sécuritaire	Très peu sécuritaire
Horaire	l'horaire du service est ...	Très satisfait	Satisfait		Insatisfait	Très insatisfait
Courtoisie de l'opérateur	Quel est votre niveau de satisfaction par rapport à la courtoisie de l'opérateur ?	Très satisfait	Satisfait		Insatisfait	Très insatisfait
Nombre d'arrêts	Le nombre d'arrêts est-il suffisant ?	Très suffisant	Suffisant		Insuffisant	Très insuffisant
Freinage de la navette	La navette a-t-elle un freinage brusque?	Fortement d'accord	D'accord		En désaccord	Fortement en désaccord
Vitesse de la navette	Selon vous, la navette roule à une vitesse...	Très rapide	Rapide		Lente	Très lente
Confort lors du déplacement	Quel était votre niveau de confort lors de ce déplacement ?	Très confortable	Confortable		Inconfortable	Très inconfortable
Durée du trajet	Selon vous, le temps de parcours est-il...	Très court	Court		Long	Très long

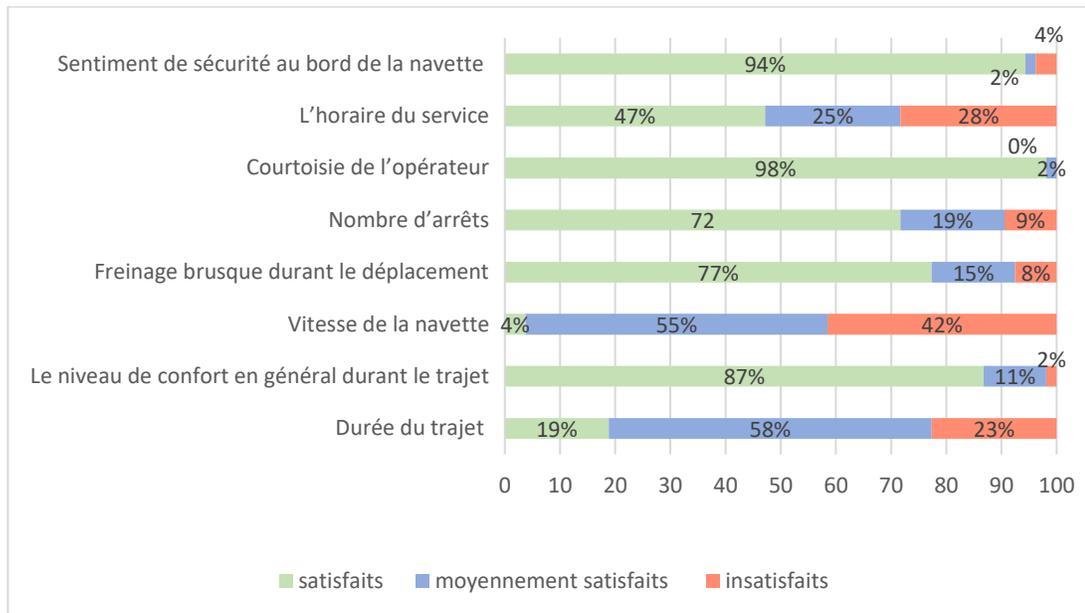


Figure 21 : Indices de satisfaction de l'expérience des usagers de la navette

Deux des participantes à nos groupes de discussion avaient essayé la navette de Candiac l'année précédente. Ces deux personnes ont déclaré leur satisfaction par rapport à cette expérience dans les mêmes termes que les répondants de Maisonneuve :

À propos de leur sécurité et de leur confort : « *j'ai jamais été inquiète par rapport à ma sécurité là-dedans... ben [bien] non ! c'est parfaitement sécuritaire* » (participante B-2).

À propos de l'opérateur : « *il [l'opérateur] était très courtois ... donnait les renseignements avec plaisir et ça était tout à fait correct* » (participante B-1).

À propos de la vitesse de la navette : « *la vitesse [rire], ça allait pas vite... il faut que tu prennes ça pour le fun [rire]... je marchais plus vite qu'elle* » (participante B-1).

4.8.Sécurité routière

4.8.1. Indicateurs de circulation

Vitesse

Le Tableau 9 présente les différentes statistiques de vitesse pour tous les sites, en comparant les vitesses des véhicules témoins avec la navette automatisée (VA). Sans étonnement, les vitesses moyennes et les écarts-types des vitesses des navettes sont significativement inférieures à celles des véhicules témoins. Le Tableau 10 vient confirmer que les distributions des vitesses sont significativement différentes à partir du test de Kolmogorov-Smirnov (KS) conduit sur chaque paire de distributions (vitesses des navettes et vitesses des véhicules témoins) à chaque site. Ces différences sont aussi faciles à voir dans la Figure 22 qui présente les distributions de vitesses, ainsi que le premier (Q1), second (Q2 : médiane) et troisième (Q3) quartiles de chaque ensemble d'observations (en lignes pointillées horizontales dans les densités de probabilité).

Tableau 9 : Statistiques des vitesses des véhicules témoins et des navettes à chaque site

Lieux	Coubertin		Hochelaga		Ontario		Chartwell		Inverness		Victorin		Voie	
	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA
Moyenne	20.13	5.85	19.49	8.69	20.62	6.26	29.54	10.24	33.15	9.62	18.3	8.54	33.45	8.05
Écart-type	10.11	2.17	9.72	2.84	15.89	3.12	8.78	3.89	11.96	3.67	6.87	3.7	14.39	3.39
Q1	13.78	3.95	13.39	8.08	5.12	3.77	24.09	6.34	26.25	6.61	13.54	6.38	25.18	5.59
Q2	18.65	6.38	21.16	9.24	19.57	6.23	30.86	11.14	34.53	7.59	16.49	9.4	30.24	6.94
Q3	25.86	7.69	24.71	10.17	36.04	8.89	34.62	13.28	40.12	12.72	23.51	11.58	42.05	10.84

Tableau 10 : Résultats du test KS comparant les distributions des vitesses des navettes et des véhicules témoins à chaque site

Statistique	Coubertin	Hochelaga	Ontario	Chartwell	Inverness	Victorin	Voie
D	0.8845	0.7541	0.5634	0.9137	0.8814	0.7981	0.9107
<i>p</i>	1.332e-15*	0.0*	6.662e-11*	7.772e-16*	2.22e-16*	7.563e-11*	1.11e-15*

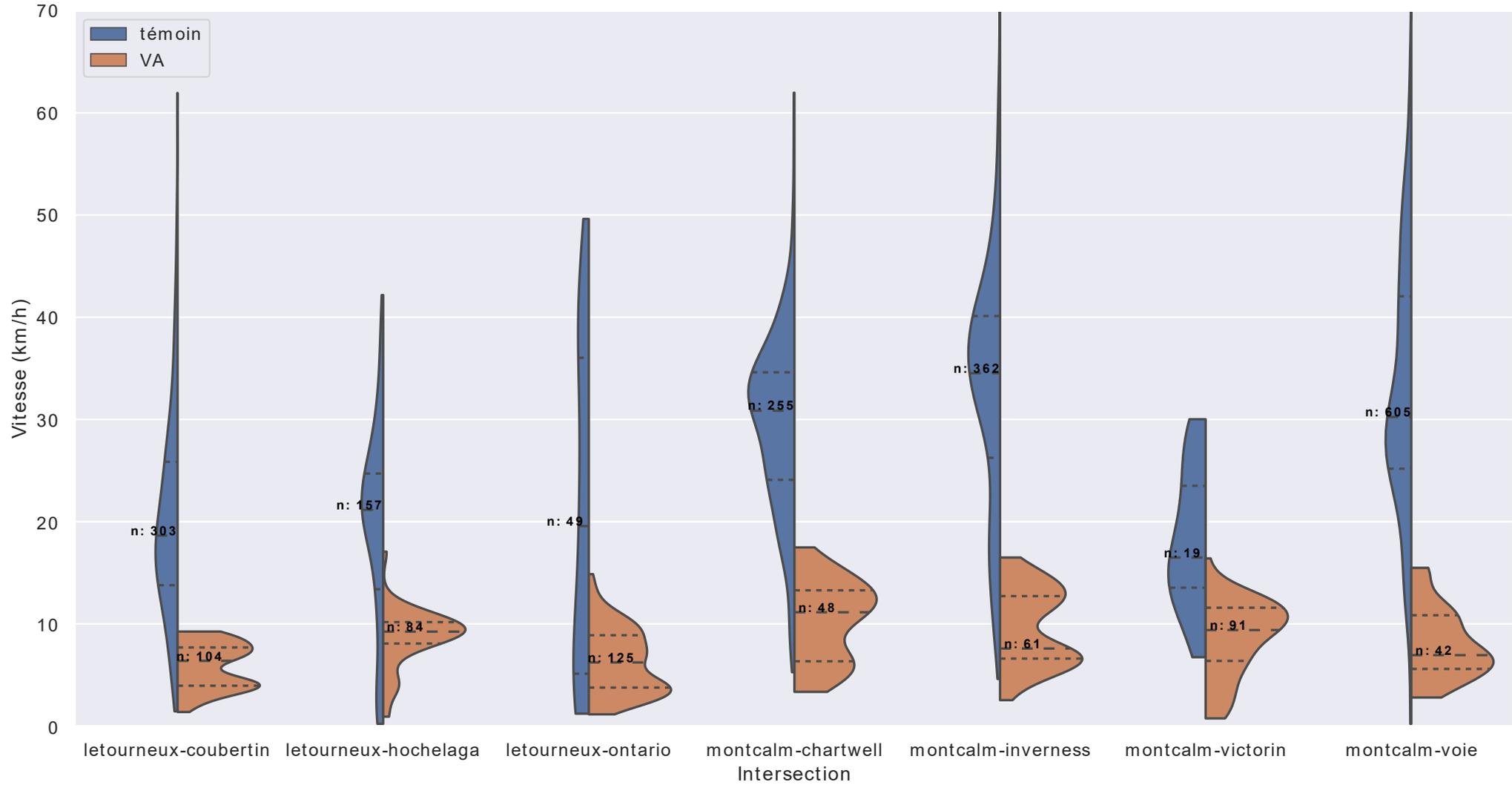


Figure 22 : Distributions des vitesses des véhicules témoins et des navettes à chaque site

Accélération

Le Tableau 11 et la Figure 23 présente les différentes statistiques calculées pour tous les sites, en comparant les accélérations des véhicules témoins avec la navette automatisée. Les accélérations sont en valeur absolue plus faibles et, d'après l'écart-type, moins étalées pour les navettes, ce qui concorde avec leur comportement plus prévisible et précautionneux. Comme pour les moyennes, les médianes (Q2) des accélérations des navettes tendent vers 0, ce qui concorde également avec la tendance des navettes à faire des accélérations moins brusques. On peut noter que les coefficients d'asymétrie et d'acuité varient grandement entre les distributions des véhicules témoins et les distributions des navettes. Ceci corrobore l'observation faite d'une conduite très différente entre les navettes automatisées et les conducteurs des véhicules témoins. Par exemple, pour le coefficient d'asymétrie, les données d'accélérations à l'intersection de Pierre-de-Coubertin sont relativement symétriques, mais légèrement étalées positivement pour les navettes et négativement pour les voitures témoins. Au coin d'Hochelaga, l'étalement positif des valeurs pour les deux distributions concorde avec les usagers et les navettes effectuant plus d'accélérations positives et le phénomène inverse est observé près d'Ontario. Par exemple, au coin de Coubertin et Ontario, les véhicules témoins ont tendance à freiner davantage pour effectuer le virage, d'où le signe négatif.

Aux quatre sites de Candiac, contrairement à ceux de Montréal, le coefficient d'asymétrie des véhicules témoins se rapproche davantage de 0, comparativement à celui des navettes. Cette observation contraire à celle faite aux sites de Montréal pourrait s'expliquer par la condition de la route et la météo. La navette de Candiac a circulé en hiver, parfois lors d'averses de pluie ou de neige. Un désengagement fréquent du pilote automatique de la navette de Candiac a également été rapporté. Enfin, la navette de Navya (Candiac) a circulé sur une artère peu passante, dans un secteur industriel, alors que la navette d'EasyMile a circulé sur une rue résidentielle dans un quartier dense où ses vitesses étaient plus contraintes.

Finalement, les mêmes tests KS ont été menés sur ces distributions (Tableau 12) et ils démontrent que la différence entre les accélérations est statistiquement significative à chaque site.

Tableau 11 Statistiques des accélérations des véhicules témoins et des navettes à chaque site

Lieux	Coubertin		Hochelaga		Ontario		Chartwell		Inverness		Victorin		Voie	
	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA	Témoin	VA
Moyenne	-0.08	0.03	0.84	0.03	-0.77	-0.02	0.86	0.16	0.45	0.02	-0.62	0.04	1.11	0.21
Écart-type	0.85	0.1	1.49	0.17	1.18	0.18	2.14	0.44	7.0	0.44	2.3	0.33	2.72	0.55
Q1	-0.39	-0.03	0.01	-0.02	-1.46	-0.1	-0.48	-0.14	-1.76	-0.08	-2.68	-0.14	-0.98	-0.09
Q2	0.04	0.02	0.72	0.05	-0.57	-0.04	1.22	-0.07	1.09	-0.01	-1.0	0.04	1.43	0.02
Q3	0.31	0.07	1.43	0.12	0.02	0.05	1.97	0.32	2.33	0.21	1.59	0.18	2.78	0.46
coef. asymétrique	-0.79	0.52	2.91	1.1	-0.57	-0.08	0.68	1.57	0.02	-3.27	0.17	1.09	-0.39	1.29
coef. acuité	2.37	2.14	18.36	9.64	0.31	3.29	4.83	1.85	1.2	20.09	-1.22	3.84	4.49	1.57

Tableau 12 : Test KS comparant les distributions des accélérations des navettes et des véhicules témoins à chaque site

Statistique	Coubertin	Hochelaga	Ontario	Chartwell	Inverness	Victorin	Voie
D	0.3405	0.6777	0.5722	0.5221	0.5197	0.546	0.4542
p	1.707e-08*	0.0*	2.924e-11*	1.127e-10*	1.511e-13*	6.654e-05*	6.598e-08*

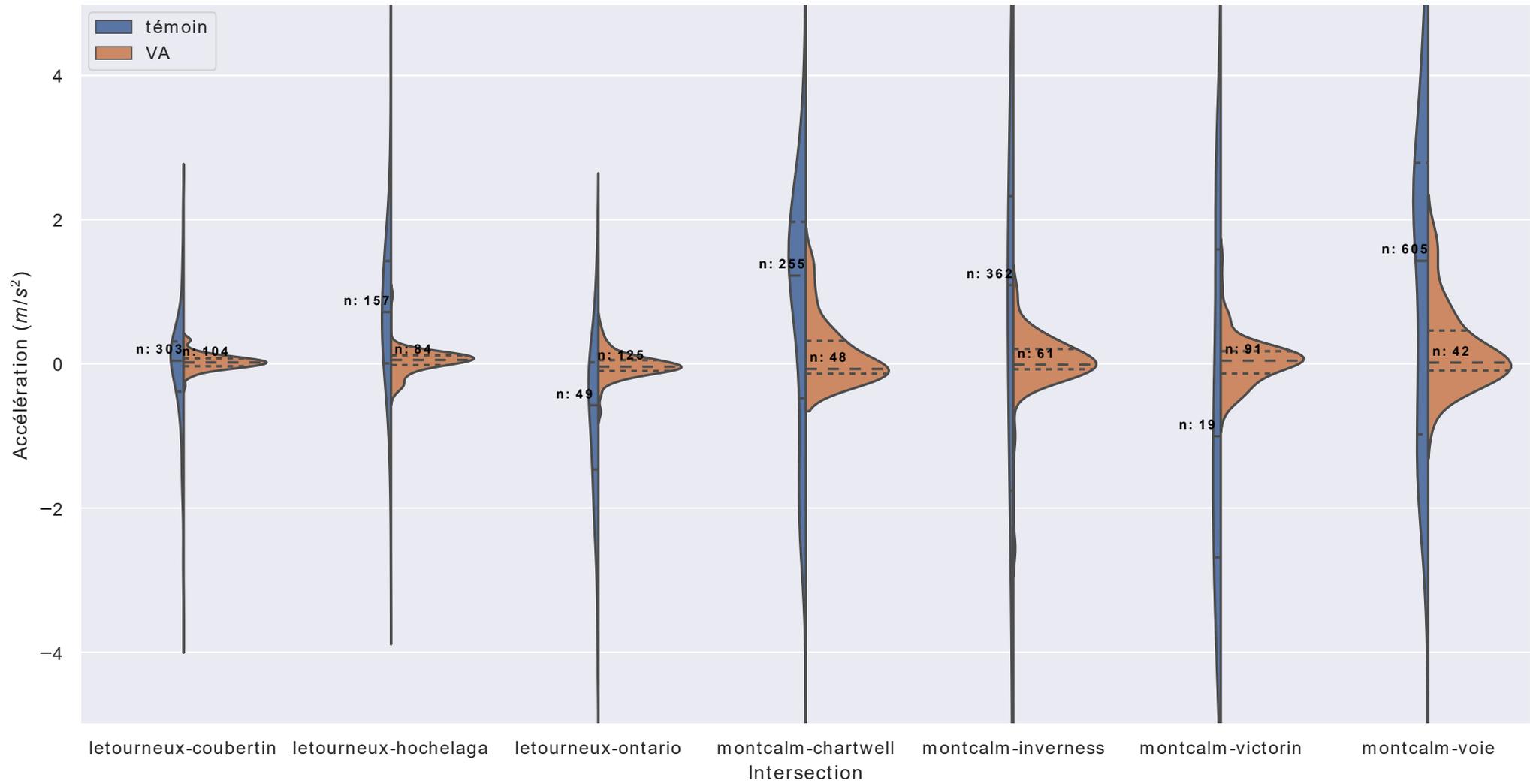


Figure 23 : Distributions des accélérations des véhicules témoins et des navettes à chaque site

Temps inter-véhiculaires

Les TIV ont été analysés pour les trois sites de Candiac où des situations de suivi pouvaient être observées pendant un certain temps. Pour chaque situation de suivi, le type de l'usager en tête, navette ou véhicule avec un conducteur humain, et le TIV minimum (TIV_{15}) ont été retenus. Le Tableau 13 : Résultats des tests KS comparant les distributions des TIV_{15} selon qu'une navette ou qu'un véhicule témoin est en tête à trois sites de Candiac présente les résultats des tests KS et le Tableau 14 présente pour chaque site les proportions des TIV_{15} dangereux (définis comme inférieurs à 1 s). La Figure 24 : Distributions des TIV_{15} avec la navette ou un conducteur en tête pour toutes les situations de suivi (en haut) et les situations de suivi avec un dépassement (en bas) à trois sites de Candiac présente les distributions des TIV_{15} .

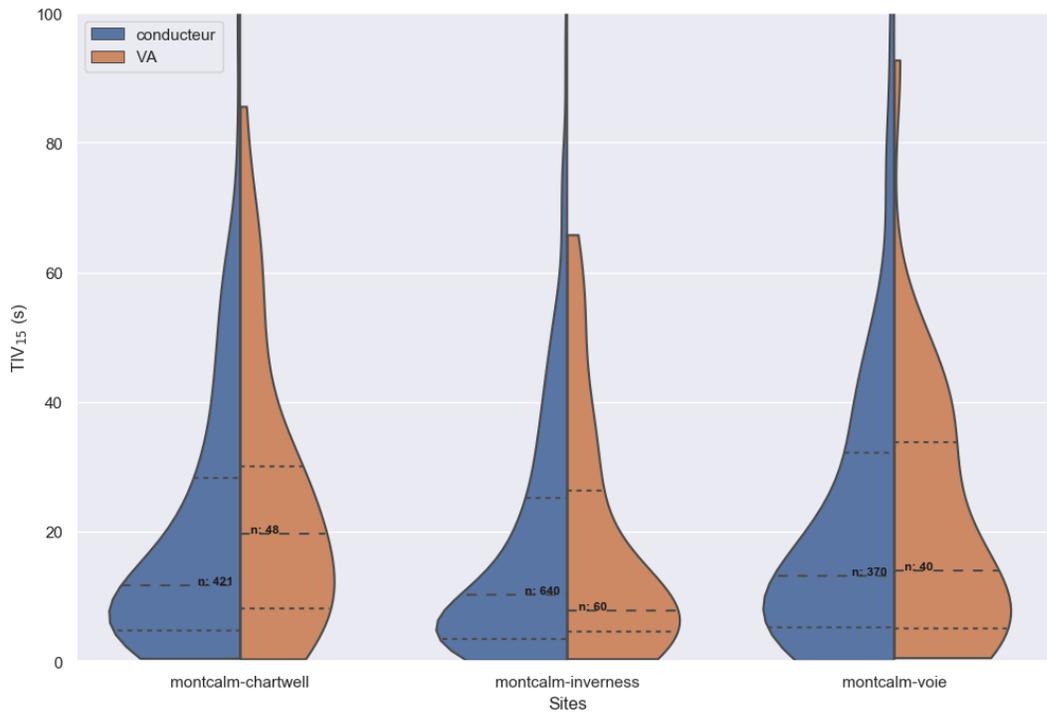
Tableau 13 : Résultats des tests KS comparant les distributions des TIV_{15} selon qu'une navette ou qu'un véhicule témoin est en tête à trois sites de Candiac

Statistique	Chartwell	Inverness	Voie ferrée
D	0.1151	0.1972	0.09257
p	0.4296	0.0601	0.8876

Tableau 14 : Nombre d'interactions de suivis jugées dangereuses à trois sites de Candiac

	Chartwell	Inverness	Voie ferrée
<i>Nb. de TIV mesurés</i>	469	700	410
<i>Conducteur en tête (% de tous les TIV)</i>	421 (89.8 %)	640 (91.4 %)	370 (90.2 %)
<i>Navette en tête (% de tous les TIV)</i>	48 (10.2 %)	60 (8.6 %)	40 (9.8 %)
<i>Nb de dépassements (% de tous les TIV)</i>	7 (1.5 %)	28 (4.0 %)	4 (1.0 %)
<i>Conducteur en tête (% des dépassements)</i>	7 (100 %)	25 (89.3 %)	4 (100 %)

<i>Nb. de TIV₁₅ < 1 s (% de tous les TIV)</i>	9 (1.9 %)	14 (2.0 %)	14 (3.4 %)
<i>Nb de TIV₁₅ < 1 s avec une navette en tête (% du nombre de passage de la navette)</i>	2 (4.2 %)	1 (1.6 %)	1 (2.4 %)



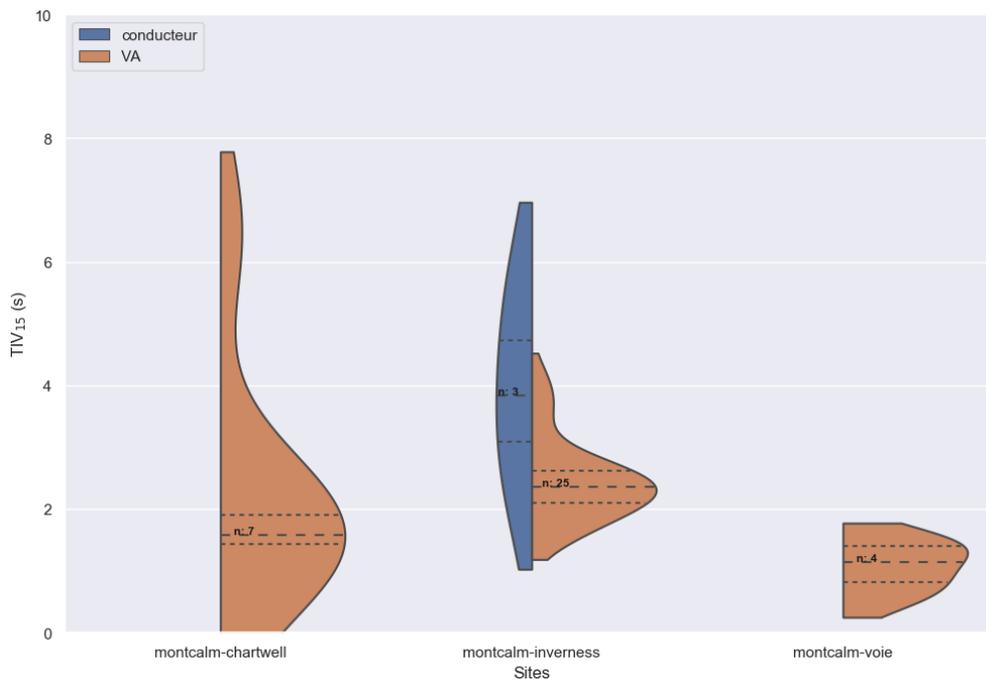


Figure 24 : Distributions des TIV_{15} avec la navette ou un conducteur en tête pour toutes les situations de suivi (en haut) et les situations de suivi avec un dépassement (en bas) à trois sites de Candiac

(notez l'échelle différente sur l'axe vertical)

À partir de ces tableaux et figures, nous pouvons noter que les usagers ont tendance à circuler rapidement au carrefour de Montcalm et Inverness. Les TIV_{15} plus faibles pourraient donc être expliqués par ce fait. De plus, les TIV_{15} plus faibles pour les navettes en cas de dépassement pourraient être attribuables à l'impatience de conducteurs qui se retrouvent derrière la navette, la suivant de près avant de la dépasser dès que l'opportunité se présente. Face à la voie ferrée, l'allure un peu plus bimodale de la distribution des TIV avec la navette en tête pourrait être due à l'arrêt effectué par la navette. Les distributions ne sont pas statistiquement différentes (test KS). On note que les TIV_{15} dangereux répertoriés comptent pour une minorité des interactions de suivis répertoriées. Cependant, on note une proportion plus grande des situations de dépassement lorsque la navette est en tête, plutôt qu'avec un conducteur humain. Cela confirme que les conducteurs s'impatientent davantage lorsqu'ils se retrouvent derrière la navette, ce qui peut poser des risques d'accident. Aussi, d'après la Figure 24, les TIV dans les situations impliquant un dépassement sont naturellement plus courts et plus petits lorsqu'une navette est en tête. Malheureusement, peu d'observations de

dépassements d'un conducteur humain ont été faites et il s'avère donc plus difficile de comparer les navettes avec les véhicules témoins.

4.8.2. *Indicateurs de sécurité*

Temps à la collision (TTC)

La Figure 25 présente les distributions de TTC_{15} pour les interactions impliquant des navettes et des véhicules témoins avec tous les autres usagers (interactions navette avec tous les autres usagers, comparées aux interactions des véhicules témoin avec tous les autres usagers autres que la navette). En complément, le Tableau 15 présente les résultats des tests KS comparant les distributions des TTC_{15} des interactions des navettes et des véhicules témoins pour chaque site.

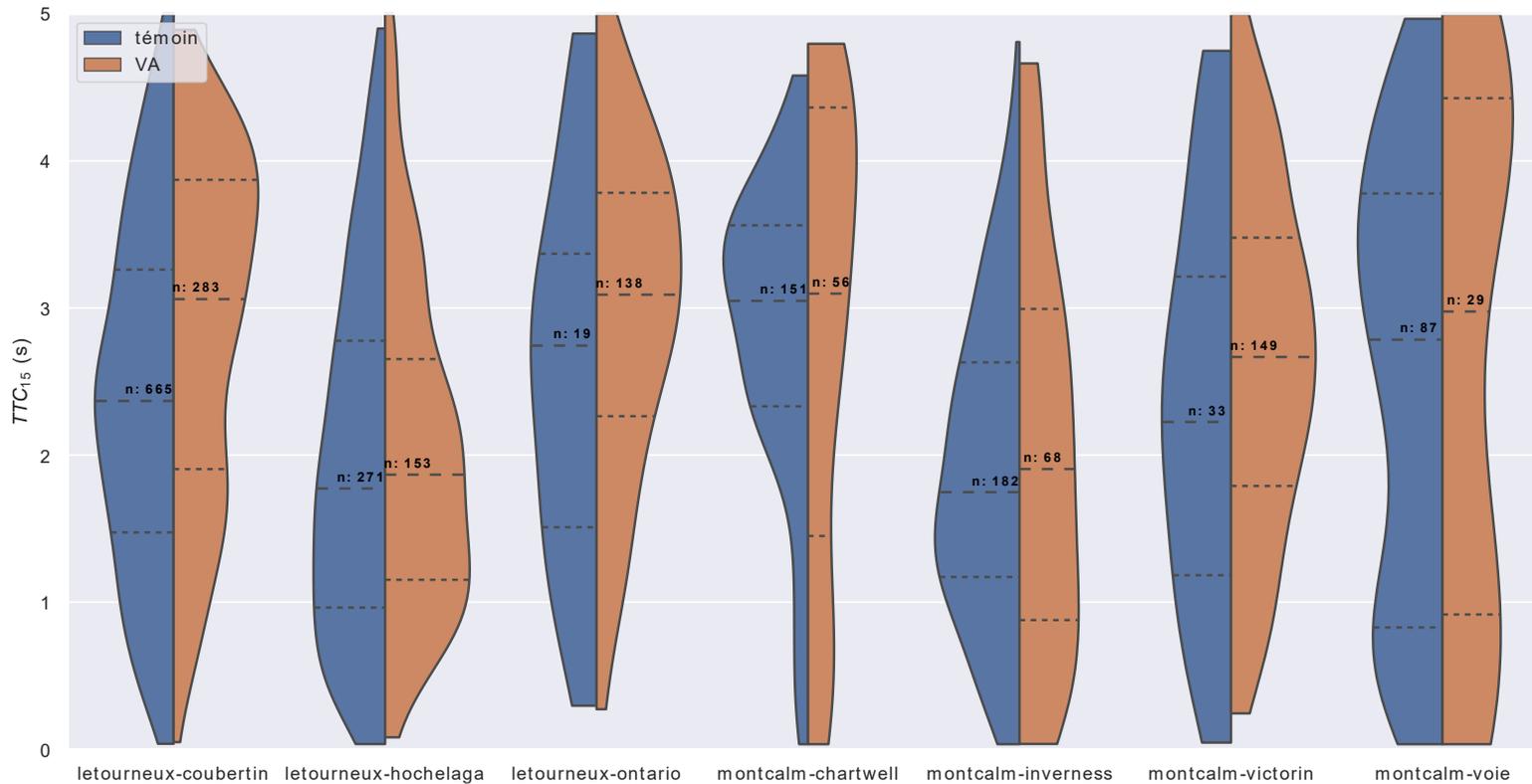


Figure 25 : Distributions des TTC_{15} des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site

Tableau 15 : Résultats des tests KS comparant les distributions des TTC_{15} des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site

Statistique	Coubertin	Hochelaga	Ontario	Chartwell	Inverness	Victorin	Voie ferrée
D	0.1662	0.1189	0.1559	0.244	0.1061	0.2283	0.2314
p	3.134e-07*	0.06811	0.4319	0.003027*	0.2022	0.04636*	0.03217*

Il est intéressant de noter que les TTC_{15} (les trois quartiles) sont généralement plus grands lorsqu'il s'agit d'interactions impliquant une navette. Par exemple, à l'intersection de Pierre-de-Coubertin, les TTC_{15} pour les interactions impliquant des navettes sont en moyenne plus grands et le test KS montre que les distributions sont significativement différentes. À ce site, l'aspect bimodal des distributions pourrait être lié aux arrêts fait avant le virage. Pour l'intersection d'Hochelaga, aucune différence statistique ne peut être observée. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'il s'agit d'une intersection particulièrement achalandée où il s'avère difficile de maintenir des distances sécuritaires. Les navettes n'auraient donc pas un effet statistiquement mesurable sur la sécurité des interactions à une telle intersection. Également au coin de la rue Ontario, les distributions ne sont pas significativement différentes. Il s'agit d'un virage rarement emprunté par les automobilistes, avec peu d'observations de véhicules témoins.

À Candiac, en face de la résidence Montcalm, les TTC_{15} sont en moyenne plus grands lorsqu'ils impliquent une navette. La distribution des interactions avec un véhicule automatisé est également plus étalée. Une allure bimodale semble également se dessiner, ce qui correspondrait à l'observation faite à l'intersection de Pierre-de-Coubertin, alors que cette intersection comporte un arrêt pour la navette. Cependant, le faible nombre d'observations permet difficilement de l'affirmer. À l'intersection d'Inverness, similairement à l'intersection d'Hochelaga, la différence entre les distributions n'est pas statistiquement significative. Pour l'artère Marie-Victorin, les interactions avec une navette sont plus sécuritaires, avec un TTC_{15} moyen plus grand, et les distributions sont statistiquement différentes. La même chose peut être dite du dernier site, au niveau de la voie ferrée. Étant donné que l'entrepôt de la navette se trouve à proximité cet endroit, il arrive que la navette fasse un virage pour s'y rendre. Ceci expliquerait l'allure bimodale similaire à ce qui était observé au coin de Pierre-de-Coubertin à MHM.

Temps post-empiètement (PET)

La Figure 26 présente les distributions de PET pour les interactions impliquant des navettes et des véhicules témoins avec tous les autres usagers (interactions navette avec tous les autres usagers, comparées aux interactions des véhicules témoin avec tous les autres usagers autres que la navette). En complément, le Tableau 16 présente les résultats

des tests KS comparant les distributions des PET des interactions des navettes et des véhicules témoins pour chaque site.

Une première chose à noter est le fait que des valeurs de PET sont plus élevées que celles enregistrées pour la TTC_{15} , parce qu'il n'y a pas de limite supérieure à la durée maximale entre les temps de passage de deux usagers de la route au même endroit tandis que les TTC sont calculés en faisant des prédictions des mouvements des usagers sur un horizon maximal de 5 s. Comme dans l'analyse précédente des TTC_{15} , mais de façon encore plus nette, les valeurs sont globalement plus élevées pour les interactions avec les navettes et indiquent donc des interactions plus sécuritaires. En effet, les trois quartiles des PET sont généralement plus grandes pour les interactions impliquant une navette, et ce, à tous les sites. D'après les résultats des tests KS, les navettes génèrent également des distributions de PET significativement différentes de celles des véhicules témoins, à l'exception de l'intersection de Montcalm et Marie-Victorin, ce qui pourrait être attribué au petit nombre d'observations.

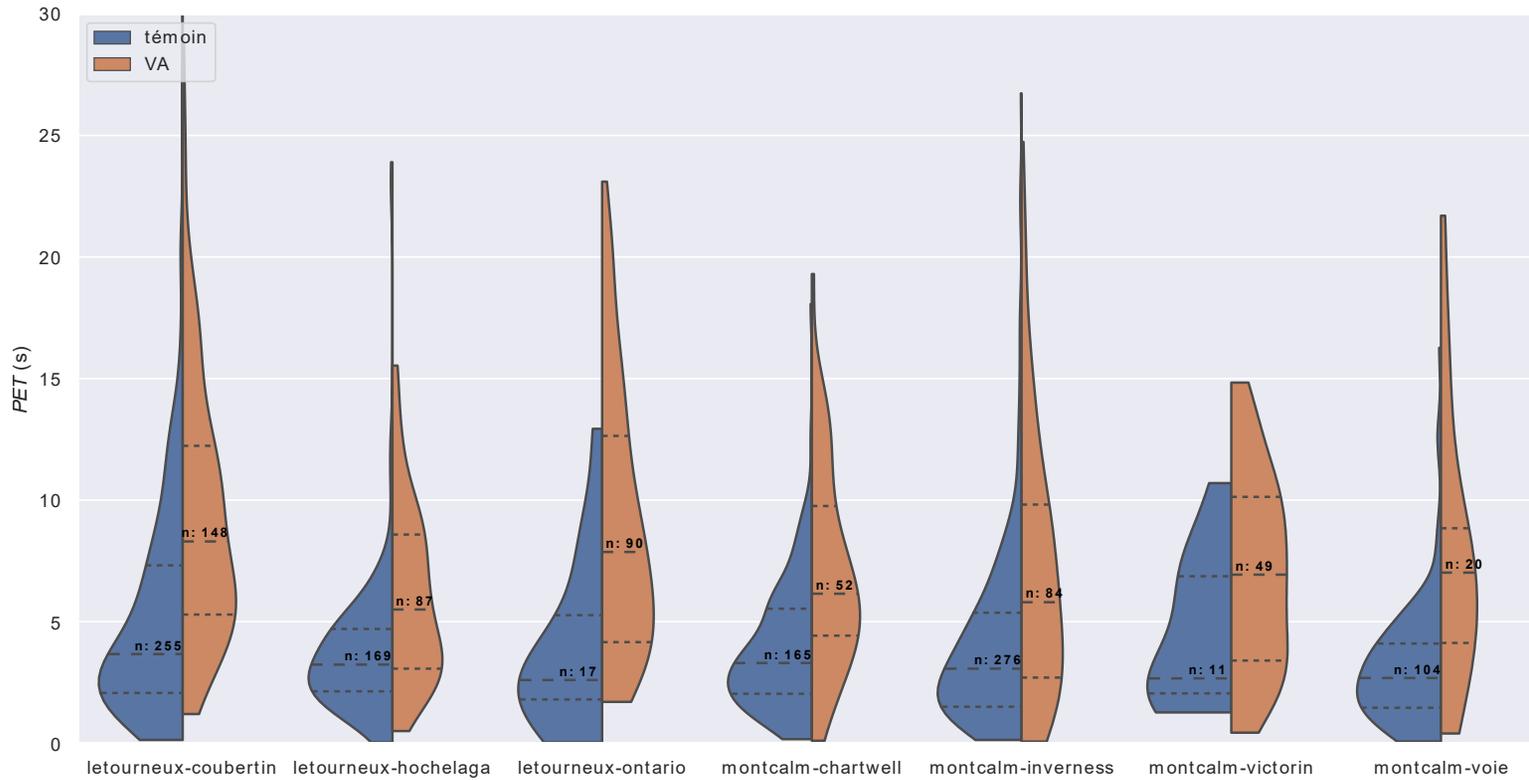


Figure 26 : Distributions des PET des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site

Tableau 16 : Résultats des tests KS comparant les distributions des PET des interactions des navettes et des véhicules témoins à chaque site

Statistique	Coubertin	Hochelaga	Ontario	Chartwell	Inverness	Victorin	Voie
D	0.1072	0.2103	0.2778	0.426	0.3842	0.1307	0.6189
p	0.002912*	5.541e-05*	0.01767*	3.998e-09*	1.988e-13*	0.5511	9.426e-14*

Analyse des interactions avec des piétons et des cyclistes

Dans l'intérêt d'analyser avec plus de détails les interactions avec les usagers vulnérables, les interactions d'une navette ou d'un véhicules témoin avec un cycliste ont été isolées. Les Figure 27 et Figure 28 montrent les TTC_{15} et PET pour les interactions uniquement avec des cyclistes aux trois sites de Montréal (il y a trop peu d'observations aux sites de Candiac). On note néanmoins d'abord le petit nombre d'observations. À l'exception de l'intersection de Letourneux et Pierre-de-Coubertin, moins d'une dizaine d'observations ont été faites. Malgré ces petits nombres, les résultats indiquent un décalage notable vers de plus grandes valeurs pour les distributions des interactions impliquant une navette. En effet, les TTC_{15} sont nettement plus élevés avec les navettes qu'avec les véhicules témoins (quand des observations ont également été faites avec les véhicules témoins), notamment au coin d'Hochelaga, où on note un achalandage important et où les interactions avec les véhicules témoins sont en moyennes inférieures au seuil de 1,5 s fréquemment utilisé pour distinguer des interactions sévères. Les valeurs de TTC_{15} pour les navettes sont, pour leurs parts, loin d'être inquiétantes à cette même intersection. Les valeurs de PET permettent de tirer des conclusions similaires. Les résultats laissent porter à croire que les interactions entre les cyclistes et les navettes sont plus sécuritaires qu'avec des véhicules conduits manuellement.

Similairement, les interactions impliquant seulement les piétons ont été isolées aux trois sites de Montréal. Les Figure 29 et Figure 30 montrent les TTC_{15} et PET pour les interactions avec des piétons. Encore une fois, le faible nombre d'observations, surtout de PET, rend l'interprétation des résultats plus difficile. Pour les TTC_{15} , les distributions des navettes sont encore une fois décalées positivement par rapport aux distributions des véhicules témoins. En revanche, pour les PET, seulement quelques rares observations ont été faites à Hochelaga et Ontario. Peu de piétons ont donc croisé le trajet suivi par les navettes et il s'avère donc difficile de tirer des conclusions très claires. Les distributions des TTC_{15} avec un nombre de données acceptables tendent à indiquer que les interactions entre la navette et les piétons sont plus sécuritaires.

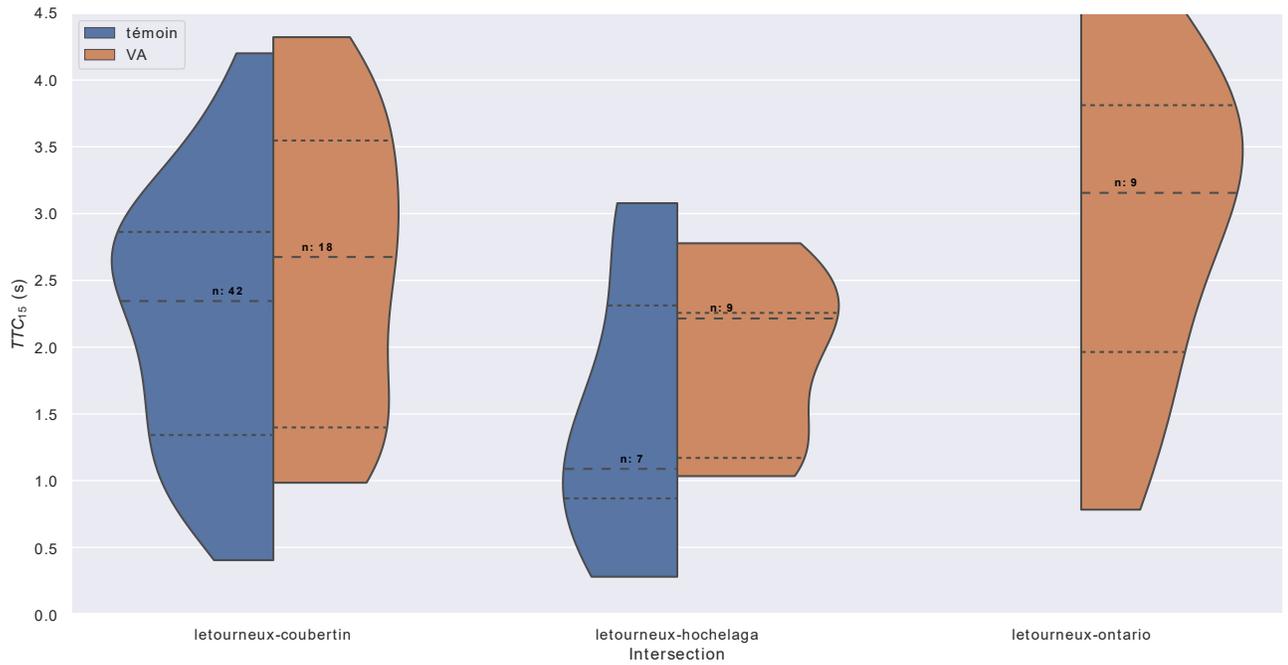


Figure 27 : Distributions des TTC₁₅ des interactions avec les cyclistes aux trois sites de Montréal

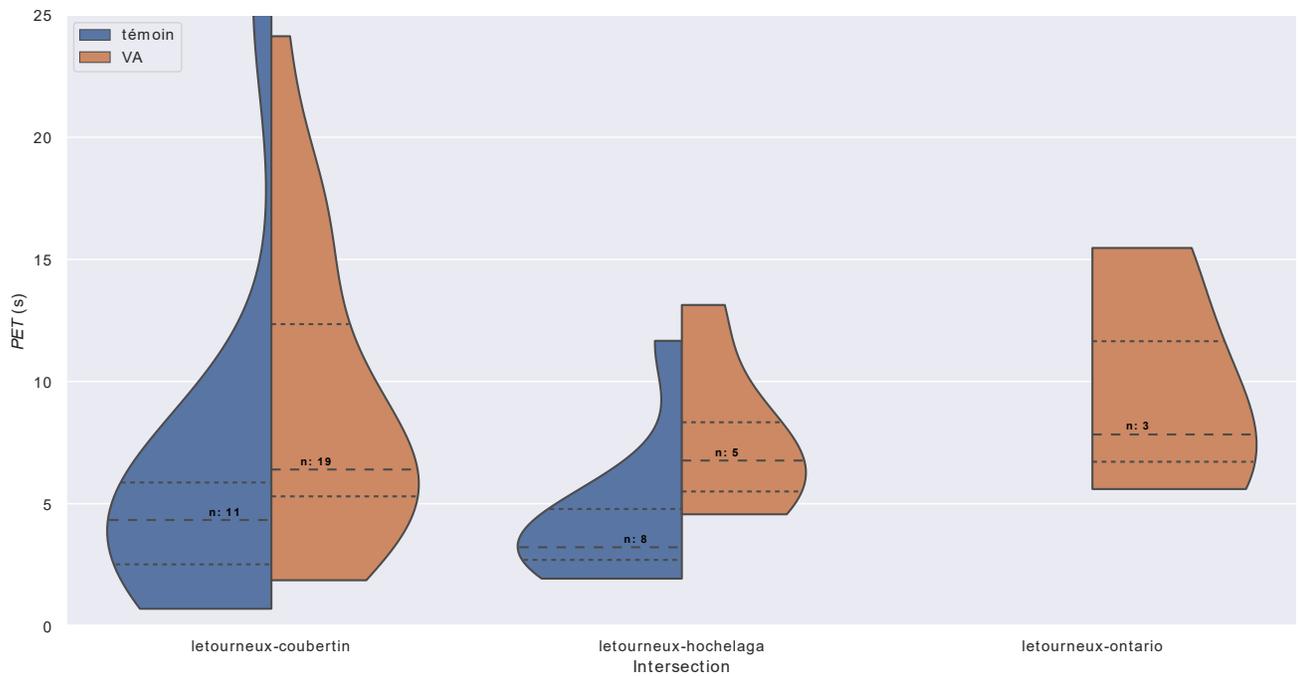


Figure 28 : Distributions des PET des interactions avec les cyclistes aux trois sites de Montréal

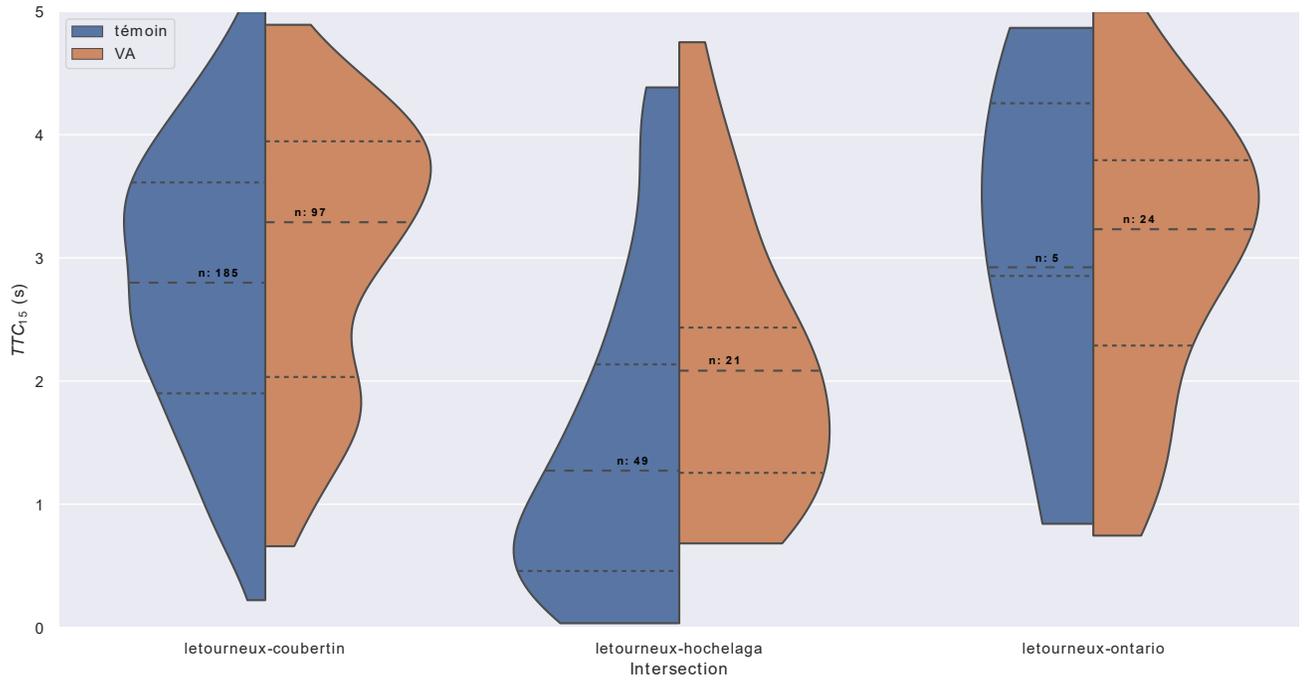


Figure 29 : Distributions des TTC_{15} des interactions avec les piétons

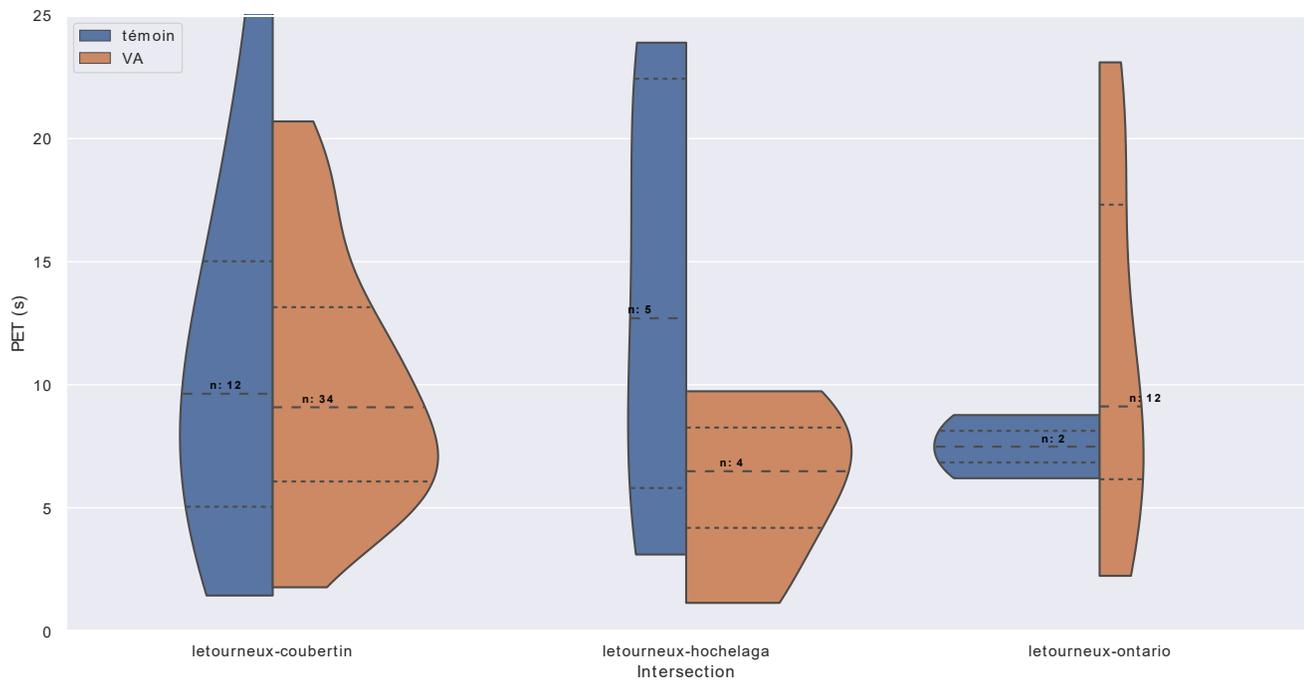


Figure 30 : Distributions des PET des interactions avec les piétons

4.9. Grille de critère pour l'acceptabilité sociale des futurs projets de navettes automatisées

À la lumière des divers résultats que nous avons obtenus, nous sommes à même de proposer une première grille de critères à prendre en considération pour s'assurer d'une acceptabilité sociale dans les futurs projets de navettes automatisées. Par ailleurs, nous proposons aussi d'ajouter des critères permettant d'assurer la sécurité routière de tous les usagers et une plus grande utilisation de ces navettes puisqu'il s'est avéré, dans le cas de Candiac, que la fréquentation n'était pas au rendez-vous tandis que certaines pistes d'améliorations de l'expérience usagers sont aussi à prendre en considération pour le cas de Maisonneuve. Le Tableau 17 résume ces critères.

Tableau 17 : Critères pour l'acceptabilité sociale et la fréquentation des navettes autonomes

Critère	Définition
Information sur le projet	Pour que les citoyens adhèrent à de tels projets-pilotes, il est important qu'il aient un maximum d'information sur le projet en soi, à la fois par des canaux habituels (médias locaux et sociaux), mais aussi le long du trajet (signalisation du parcours, positionnement des arrêts, etc.) Les participants à notre projet connaissaient le projet et y étaient favorables.
Choix du trajet et des arrêts	Pour que les citoyens utilisent la navette, il est important de bien choisir le trajet pour qu'il soit « utile » pour les futurs utilisateurs : s'assurer d'avoir une diversité d'origine et de destinations le long du parcours et de débiter et de terminer celui-ci dans des lieux significatifs. Le positionnement des arrêts est aussi important pour encourager les gens à l'utiliser : ceux-ci doivent être à proximité des destinations importantes (commerces, habitations, station de transport en commun, etc.). Les participants à notre projet ont soulevé le fait que le trajet doit répondre à un de leur besoin en transport pour se décider à l'utiliser sur une base régulière et non uniquement par curiosité.
Choix de la population cible comme futurs utilisateurs	La population visée par ces projets se doit d'être bien définie pour atteindre l'objectif de fréquentation. Nos résultats ont démontré que le potentiel de la navette se retrouve possiblement chez certaines populations à mobilité réduite, ou encore avec peu de contrainte de temps (en raison de la basse vitesse des navettes).

Critère	Définition
Fréquence et fiabilité du service	L'expérience des usagers interrogés ainsi que les discussions de groupe ont permis de soulever le critère de la fréquence et de la fiabilité du service comme étant un élément important dans l'acceptabilité sociale et la fréquentation des navettes. S'assurer d'avoir un horaire fixe et constant, ainsi que des outils fiables (sites web ou application) pour retrouver l'information est très important pour fidéliser les futurs utilisateurs.
Interactions entre la navette et les autres usagers	<p>Bien que la majorité des participants à notre projet soient optimistes quant à la mobilité sans conducteur, plusieurs ont aussi soulevé que les interactions avec les autres véhicules et les piétons et les cyclistes demeurent le défi principal auquel les opérateurs devraient s'attaquer. À ce titre, le fonctionnement des navettes automatisées ne semble pas compris par tous, ce qui nous ramène au premier critère lié à la diffusion de l'information. Étant donné que nos analyses de sécurité démontrent des comportements tout à fait sécuritaires de la part des navettes, il est aussi possible de diffuser de l'information à ce sujet et de continuer de tester la technologie en ce sens, pour informer la population et ainsi augmenter leur acceptabilité sociale.</p> <p>Un autre élément important qui ressort de nos résultats en lien avec ces interactions est les plus grandes proportions de répondants qui estiment que le respect des règles de sécurité routière en présence de navettes aggraverait la situation de tous les usagers de la route. Il serait important de s'assurer encore une fois de bien diffuser l'information sur la technologie des navettes et ses impacts sur les comportements à adopter de la part des autres usagers.</p>

5. Conclusion

5.1. Faits saillants des résultats

5.1.1. *Acceptabilité sociale*

Nos résultats démontrent que l'acceptabilité sociale des navettes automatisées de Candiac et de Maisonneuve est atteinte à différentes étapes du processus tel que décrit au premier chapitre. Tout d'abord, la population interrogée des deux sites semble avoir adopté *l'acceptabilité a priori* : les répondants sont en majorité optimistes par rapport à la mobilité sans conducteur et y voient certains bénéfices lorsqu'on les interroge sur les effets potentiels des navettes automatisées, ce qui est semblable à certaines études faites ailleurs comme celle de Nordhoff et al. (2018).

Certains de nos répondants ont aussi franchi le niveau *d'acceptation de la navette automatisée* puisque les usagers interrogés ont tous soulevés des éléments positifs de leur expérience dans la navette, bien que certaines pistes d'amélioration aient aussi été suggérées. Ces éléments qui ont enregistré une moindre satisfaction, comme la vitesse ou le trajet semblent influencer l'appropriation de la navette (la dernière étape du processus d'acceptabilité sociale). Ce sont ces critères qui constituent l'acceptabilité pratique dont Nielsen (1994) parle et qui peuvent influencer l'acceptabilité sociale.

Notons en terminant que la courte échéance de ces deux projets-pilote ne permet pas de conclure à *l'appropriation de la navette* par les usagers ou les riverains. Les répondants à nos diverses collectes de données ont par ailleurs ciblé divers défis et avantages potentiels en lien avec leur propre utilisation de ces navettes et ces éléments constituent en soi une liste de critères à prendre en considération pour améliorer à la fois l'acceptabilité sociale et la fréquentation dans les futurs projets de navettes automatisées.

5.1.2. *Sécurité routière*

L'analyse des différents indicateurs extraits des données vidéo confirment le comportement précautionneux des navettes comparé à des conducteurs humains. Les vitesses et les accélérations, en valeur absolue, des navettes sont significativement plus faibles que celles des véhicules témoins. Concernant les interactions entre les usagers de la route, les TIV indiquent que les conducteurs suivant une navette peuvent être plus près que lorsqu'ils suivent d'autres conducteurs, probablement à cause des vitesses plus faibles des navettes. Suivre des véhicules de trop près augmente le risque d'accident et

démontre un comportement plus agressif de certains conducteurs par rapport à la navette. Les mesures de TTC et de PET indiquent que les véhicules automatisés ont des interactions significativement plus sécuritaires que les conducteurs humains, y compris avec les usagers vulnérables aux sites où les données sont suffisamment abondantes.

5.1.3. *Critères à prendre en considération pour de futurs projets*

Le couplage de différentes questions qui se retrouvaient dans plus d'une collecte nous ont permis de proposer une grille de critères pour les futurs projets. Rappelons ici quelques constats en amont de cette grille présentée au chapitre des résultats. Tout d'abord, concernant les défis prioritaires liés à l'arrivée des navettes automatisées sur les routes (présents dans le questionnaire sur rue et dans les groupes de discussion), ce sont les interactions avec les autres véhicules et avec les piétons et les cyclistes qui ressortent comme étant le défi le plus important à relever par les opérateurs. Le second est en lien avec le service offert : le choix du trajet (dans des zones avec des destinations), la fréquence du service et la fiabilité de l'horaire sont des points qui sont ressorti à la fois des discussions et des commentaires émis par les répondants dans la rue. Contrairement aux écrits sur l'acceptabilité sociale, les risques reliés à la sécurité informatique et aux pertes d'emplois préoccupent moins nos répondants. Finalement, lorsque questionnés sur les avantages potentiels de la navette, nos répondants (sur la rue et dans la navette) avaient des opinions diverses selon les sites. Tout d'abord, l'avantage le plus important pour tous les répondants est celui de l'environnement (réduction de la pollution et du bruit, relié au fait que les navettes sont électriques). Le deuxième avantage le plus important est l'augmentation de la mobilité. Deux avantages ont d'ailleurs été mis de l'avant de façon plus importante à Montréal, à la fois sur la rue (94% en accord avec une meilleure mobilité pour les personnes âgées et en incapacité) et dans la navette (87% en accord avec une meilleure mobilité dans le quartier). Finalement, les réductions de la congestion et des collisions ont moins été mis de l'avant comme un avantage. Ces résultats ont aussi été mentionnés par les participants aux groupes de discussion, dans le même sens que pour les répondants : peu d'effet sur la congestion, mais un avantage pour la mobilité des personnes âgées, notamment.

5.2. Forces et limites du projet de recherche

Ce projet de recherche constitue une première puisqu'il évalue deux projets-pilotes uniques de navettes automatisées en mouvement sur le réseau routier. Il implique une collecte de données substantielles le long des parcours (questionnaire et vidéos), dans la navette (usagers) et lors de groupes de discussion. Il va sans dire que certaines limites méthodologiques persistent, comme celles liées au traitement des images vidéo à savoir le champ d'observation limité de la caméra ou encore les erreurs possibles dans l'analyse automatisée, malgré les nettoyages, validations et corrections manuelles. De plus, il nous est difficile de mesurer l'impact des reprises manuelles de la conduite par l'opérateur de la navette à Candiac, reprises qui étaient possiblement fréquentes selon nos discussions avec les opérateurs sur le terrain. Par ailleurs, l'échantillon s'avère moins important que nous le voulions dans la navette (en raison de l'absence de répondants à Candiac), et aurait pu être plus élevé sur le parcours (plusieurs jours de collecte ont été peu fructueux : chaleur, pluie, peu de fréquentation à Candiac) et dans les groupes de discussion (arrêtés abruptement en raison de la pandémie). Dans le même sens, le nombre restreints de sites avec des données vidéos (en raison des courts trajets) ne nous permettent pas d'analyser statistiquement les différences entre les sites, entre les caractéristiques propres à chacun des sites (ex : nombre de voies, largeur de la chaussée, etc.) ou encore entre les deux saisons (été et automne). Ce sont tous des points qui rendent difficile la généralisation de nos résultats, mais qui n'enlève rien à leur pertinence dans un contexte de projet-pilote. D'ailleurs, les conclusions quant à la sécurité des navettes automatisées sont claires et cohérentes entre sites.

Au final, les résultats nous ont permis d'en savoir plus sur les défis et avantages de ces véhicules dans la population, en plus de proposer une grille de critères pour les futurs projets. De fait, la conclusion générale que nous pouvons en tirer est que ce type de projet répond à un besoin tout en étant sécuritaire et en offrant une expérience positive aux usagers. Le succès des prochains projets reposera sur le développement d'une offre de service qui répond aux besoins de la population en tenant compte des caractéristiques du véhicule (petite capacité, vitesse réduite). Par exemple, ces navettes pourraient être utilisées dans le dernier kilomètre vers un générateur de déplacement ou une station de transport collectif, ou encore dans un environnement piéton où l'offre de transport

collectif a dû être déplacé. En terminant, nous voudrions rappeler l'importance de continuer d'effectuer de la recherche sur ces projets-pilotes, dans le but de documenter non pas seulement l'acceptabilité et la sécurité des navettes automatisées, mais aussi pour tester d'autres systèmes d'aide à la conduite et d'autres véhicules automatisés, comme par exemple, les véhicules particuliers comme ceux de Waymo, ou encore les véhicules de livraison de type Nuro (<https://nuro.ai/>).

6. Références bibliographiques

- Amundsen, FH et C Hyden. 1977. « Proceedings of first workshop on traffic conflicts. » *Oslo, TTI, Oslo, Norway and LTH Lund, Sweden.*
- Audet, Charles, Sébastien Le Digabel, Christophe Tribes et V. Rochon Montplaisir. 2019. *The NOMAD project*. Consulté le Mars. <https://www.gerad.ca/nomad>.
- Bel, Marlène 2016. « Prédire l'utilisation d'une technologie nouvelle : Le cas des Systèmes de Transports Intelligents Coopératifs. . » *Sciences de l'Education, de l'Université Grenoble-Alpes (UGA).*
- Bel, Marlène , Stéphanie Coeugnet et Philippe Watteau. 2019. *MONOGRAPHIE Acceptabilité du véhicule autonome*: Institut Vedecom. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Monographie_Acceptabilite_VA.pdf.
- Bélisle, François, Nicolas Saunier, Guillaume-Alexandre Bilodeau et Sebastien le Digabel. 2017. « Optimized Video Tracking for Automated Vehicle Turning Movement Counts. » *Transportation Research Record* 2645 (1): 104-112.
- Bonnefon, Jean-François, Azim Shariff et Iyad Rahwan. 2016. « The social dilemma of autonomous vehicles. » *Science* 352 (6293): 1573-1576.
- Bracco, Aurélie , Azzedine Benhamed, Laure Delon, Robin Langlois, Kousai Smeda et Souha Makni. 2018. *Le véhicule autonome : Perception par LiDAR*. : INSA.
- CEA. 2017. *L'essentiel sur la voiture autonome*. Consulté le Mars. <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-voiture-autonome.aspx>.
- Chambre de l'assurance de dommage. 2019. *La voiture autonome au Québec* Consulté le avril 2020. <http://www.chad.ca/fr/membres/pratique-professionnelle/industrie-enjeux-et-specialites/nouvelles-technologies/560/la-voiture-autonome-au-quebec>.
- Conseil canadien des administrations en transport motorisé. 2016. *Livre blanc, les véhicules automatisés au Canada*. https://ccmta.ca/images/publications/pdf/PDF%20FRENCH/LIVRE_BLANC_LES_VEHCULES_AUTOMATISES_AU_CANADA.pdf.

- Cooper, PJ. 1983. « Experience with traffic conflicts in Canada with emphasis on “post encroachment time” techniques. » In *International calibration study of traffic conflict techniques*, 75-96. : Springer.
- Deb, Shuchisnigdha, Lesley Strawderman, Daniel W Carruth, Janice DuBien, Brian Smith et Teena M Garrison. 2017. « Development and validation of a questionnaire to assess pedestrian receptivity toward fully autonomous vehicles. » *Transportation research part C: emerging technologies* 84: 178-195.
- Dong, Xiaoxia, Matthew DiScenna et Erick Guerra. 2017. « Transit user perceptions of driverless buses. » *Transportation* 46 (1): 35-50.
- Du Chapelet, Marine, Zifeng Fang, Quentin Gauthier, Anthony Ho Wen TSai, Julie Rouzee et Bachar Salame. 2016. *LIDAR: Etat de l'art, application en perception de l'environnement pour le véhicule autonome* : INSA https://moodle.insa-rouen.fr/pluginfile.php/75927/mod_folder/content/0/Rapport_P6_2017_03.pdf?forcedownload=1.
- Hayward, John C. 1972. Near miss determination through use of a scale of danger. : Pennsylvania State University University Park.
- Hohenberger, Christoph, Matthias Spörrle et Isabell M Welpel. 2016. « How and why do men and women differ in their willingness to use automated cars? The influence of emotions across different age groups. » *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 94: 374-385.
- Jackson, Stewart, Luis F. Miranda-Moreno, Paul St-Aubin et Nicolas Saunier. 2013. « Flexible, mobile video camera system and open source video analysis software for road safety and behavioral analysis. » *Transportation Research Record* 2365 (1): 90–98–90–98.
- Johnsson, Carl, Aliaksei Lareshyn et Tim De Ceunynck. 2018. « In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. » *Transport Reviews* 38 (6): 765-785.
- Kéolis. 2019. *Navette autonome électrique*. Consulté le Octobre. <https://www.keolis.ca/fr/notre-offre/navette-autonome-electrique>.

- Kyriakidis, Miltos, Riender Happee et Joost CF de Winter. 2015. « Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. » *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 32: 127-140.
- Laureshyn, Aliaksei, Carl Johnsson, Tim De Ceunynck, Åse Svensson, Maartje de Goede, Nicolas Saunier, Paweł Włodarek, Richard van der Horst et Stijn Daniels. 2016. « Review of current study methods for VRU safety. Appendix 6–Scoping review: surrogate measures of safety in site-based road traffic observations: Deliverable 2.1–part 4. ».
- Monéger, Ferdinand. 2018. « Conception d'un service de transport par navettes autonomes acceptable et sécurisé: approche ergonomique par l'analyse des expériences vécues et des valeurs en acte. ».
- Najm, Wassim, Mary Stearns, Heidi Howarth, Jonathan Koopmann et John S Hitz. 2006. *Evaluation of an automotive rear-end collision avoidance system*: United States. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety
- NAVYA. 2019. *Navette autonome pour le transport de personnes*. Consulté le Mars. <https://navya.tech/fr/solutions/transport-de-personnes/navette-autonome-pour-le-transport-de-passagers/>.
- Nielsen, Jakob. 1994. *Usability engineering*. : Morgan Kaufmann.
- Nordhoff, Sina, Joost de Winter, Ruth Madigan, Natasha Merat, Bart van Arem et Riender Happee. 2018. « User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg: A questionnaire study. » *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 58: 843-854.
- Payre, William. 2015. « Conduite complètement automatisée: acceptabilité, confiance et apprentissage de la reprise de contrôle manuel. », Paris 8.
- SAAQ. 2019. *Moyens de déplacement : En véhicule autonome*. Consulté le Septembre. <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/moyens-deplacement/vehicule-autonome/>.
- Saunier, Nicolas, Tarek Sayed et Karim Ismail. 2010. « Large-scale automated analysis of vehicle interactions and collisions. » *Transportation Research Record* 2147 (1): 42–50-42–50.

- Schieben, Anna, Marc Wilbrink, Carmen Kettwich, Ruth Madigan, Tyron Louw et Natasha Merat. 2019. « Designing the interaction of automated vehicles with other traffic participants: design considerations based on human needs and expectations. » *Cognition, Technology & Work* 21 (1): 69-85.
- St-Aubin, Paul, Nicolas Saunier et Luis F. Miranda-Moreno. 2015. Comparison of Various Time-to-Collision Prediction and Aggregation Methods for Surrogate Safety Analysis. In *Transportation Research Board (TRB) 94th Annual Meeting*, sous la dir. de Transportation Research Board: National Academy Of Sciences.
- Venkatesh, Viswanath, Michael G Morris, Gordon B Davis et Fred D Davis. 2003. « User acceptance of information technology: Toward a unified view. » *MIS quarterly* : 425-478.
- Waymo, LLC. 2017. Waymo Safety Report: On the Road to Fully Self-Driving.
- Weistroffer, Vincent. 2014. « Étude des conditions d'acceptabilité de la collaboration homme-robot en utilisant la réalité virtuelle. », Paris, ENMP.
- Wicki, Michael et Thomas Bernauer. 2018. « Public Opinion on Route 12: Interim report on the first survey on the pilot experiment of an automated bus service in Neuhausen am Rheinfall. » *ISTP Paper Series* 3.

Annexe I : Certificat d'éthique



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique en recherche avec des êtres humains a examiné le projet de recherche identifié ci-dessous.

Titre du projet : Évaluation du projet pilote de navette autonome et électrique : sécurité routière, acceptabilité sociale et analyse des interactions entre les usagers de la route

Nom du chercheur principal (ou de l'étudiant) : Marie-Soleil Cloutier

Centre : INRS-UCS

Noms des étudiants inscrits à l'INRS dont les mémoires et/ou thèses découleront du projet, le cas échéant :

Nom du directeur de recherche, le cas échéant :

Nom du co-directeur de recherche, le cas échéant :

Nom de l'organisme subventionnaire ou de commandite : Fondation CAA-Qc, SAAQ, MTQ et Mitacs

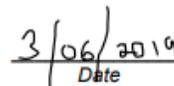
Le Comité d'éthique en recherche avec des êtres humains atteste que la recherche proposée impliquant des êtres humains répond aux normes de l'INRS en matière d'éthique.

Président du comité

Isabelle Plante

Nom en lettres moulées


Signature


Date

Annexe II : Questionnaire sur la rue

Date :

Lieu : Maisonneuve Candiac

Nom de l'enquêteur :

Section 1 : Connaissance et perception du lieu

1. À quel point êtes-vous d'accord avec les affirmations ci-dessous relatives au quartier ?

		En total désaccord	Moyennement d'accord	D'accord	Totalement d'accord	Pas d'opinion
1.1	Je trouve agréable de marcher dans cet environnement					
1.2	Je trouve sûr de marcher dans cet environnement					
1.3	Je trouve facile de traverser à cet endroit					
1.4	Je trouve dangereux de traverser à cet endroit					

2. Êtes-vous familier avec ce quartier ?

Oui Non

3. Si oui, est-ce que vous y :

	OUI	NON
Habitez ?		
Travaillez?		
Faites vos courses?		

Autres? _____

4. Quel est le mode de déplacement que vous utilisez le plus fréquemment ?

Auto	
Transport en commun	
Marche	
Vélo	
Transport partagé (communauto, bixi, etc.)	

Section 2 : Connaissance du projet pilote

5. Connaissez-vous le projet pilote de navette autonome sur ce trajet ?

Oui Non

5.1. Si oui, comment avez-vous entendu parler ou pris connaissance du projet ?

Média (la presse, etc.)	
Réseaux sociaux (Facebook, Twitter)	
Radio	
Panneau informatifs, écran d'affichage, etc.	
Proche (ami, voisin, etc.)	
Autres	

6. Avez-vous utilisé la navette autonome ?

Oui Non

6.1. Si oui, avez-vous apprécié l'expérience ?

Oui Non

7. Utiliseriez une telle navette si elle était disponible sur certains de vos trajets ?

Oui Non

Section 3 : Comportement en présence de la navette

8. Avez-vous remarqué la présence de la navette sur la rue ?

Oui Non

8.1. Si oui, avez-vous été en interaction avec la navette en tant que

	OUI	NON
Piéton		
Conducteur		
Cycliste		
Autres		

8.2. Avez-vous modifié votre comportement sur la rue en raison de sa présence ? Pour quelle raison ?

Oui Non

Raison :

Section 4 : Perception de la population par rapport au projet

9. Quels sont les avantages pour vous de l'utiliser ?

		En total désaccor d	En désaccord	D'accor d	Totaleme nt d'accord	Pas d'opinion
9.1.	Accroître la sécurité en réduisant le nombre d'accidents de la route					
9.2.	Réduire la congestion					
9.3.	Augmenter la mobilité des personnes âgées et en incapacité (personnes à mobilité réduite)					
9.4.	Augmenter la mobilité dans le quartier					
9.5.	Environnement (moins de pollution et de bruit)					
9.6.	Autres					

10. Selon vous, quel est l'effet de la navette sur...

		La mobilité sans conducteur aggraverait la situation	La mobilité sans conducteur n'aurait aucun effet sur la situation	La mobilité sans conducteur améliorerait la situation	Pas d'opinion
10.1.	Sécurité des piétons				
10.2.	Sécurité des cyclistes				
10.3.	Sécurité des automobilistes et autres véhicules				
10.4.	Respect des règles par les piétons				
10.5.	Respect des règles par cyclistes				
10.6.	Respect des règles par les conducteurs				
10.7.	Autre (listez svp)				

11. Quels sont les défis prioritaires liés à l'introduction des véhicules autonomes sur les routes :

		En total désaccord	En désaccord	D'accord	Totalement d'accord	Pas d'opinion
11.1	Interaction avec les usagers vulnérables (piétons, cyclistes)					
11.2	Interaction avec les autres véhicules					
11.3	Sécurité (risque de piratage du logiciel faisant fonctionner le véhicule)					
11.4	Perte d'emplois					
11.5	Autres					

12. Quel est votre sentiment à propos de la mobilité sans conducteur ?

Très pessimiste	Pessimiste	Neutre	Optimiste	Très optimiste
-----------------	------------	--------	-----------	----------------

Section 5 : Caractéristiques du participant

13. Quel est votre genre

Homme	
Femme	
Ne souhaite pas répondre	

14. Quel âge avez-vous ?

18 à 34 ans	
35 à 50 ans	
51 à 65 ans	
66 à 74 ans	
Plus que 75 ans	
Ne souhaite pas répondre	

15. Êtes-vous

Travailleurs à temps plein	
Travailleur à temps partiel	
Étudiants	
Retraité	
Autre	
Ne souhaite pas répondre	

16. Votre plus haut niveau d'étude

Pas de diplôme	
Diplôme d'études secondaires	
Diplôme d'études collégiales	
Universitaire	
Ne souhaite pas répondre	

17. Avez-vous une condition physique qui influence votre déplacement

OUI	NON	Ne souhaite pas répondre
-----	-----	--------------------------

18. Quel est votre code postal

.....

19. Êtes-vous détenteur d'un permis de construire ?

Oui Non

Annexe III : Questionnaire dans la navette

Date _____

Lieu _____

Enquêteur _____

Section 1: Mode de transport utilisé et destination

1. De quelle origine venez-vous?

Maison	
Travail	
Loisir/ Promenade	
Autre	

2. Vers quelle destination vous rendez vous?

Maison	
Travail	
Loisir/ Promenade	
Autre	

3. Quel est le mode de déplacement utilisez-vous fréquemment ?

Auto	
Transport en commun	
Marche	
Vélo	
Transport partagé (communauto, bixi, etc)	

Section 2 : Raisons pour utiliser la navette

4. Comment avez-vous entendu parler de la navette?

Média (la presse, etc.)	
Réseaux sociaux (facebook, Twitter	
Radio	
Panneau informatifs, écran d'affichage, etc.	
Proche (ami, voisin, etc.)	
Autres	

5. Pourquoi avoir décidé de l'utiliser ?

Curiosité (participer à l'expérimentation)	
Utilité (pluie, froid, mobilité réduite, etc.)	
Fiabilité (absence de pannes et la régularité des passages de la NA)	
Lien social (partage de l'expérience avec amis, famille, collègue, etc.)	
Présence d'un opérateur	
Commodité	

6. Quels sont les avantages pour vous de l'utiliser?

		En total désaccord	En désaccord	D'accord	Totalement d'accord	Pas d'opinion
6.1	Accroître la sécurité en réduisant le nombre d'accidents de la route					
6.2	Réduire la congestion					
6.3	Augmenter la mobilité des personnes âgées et en incapacité (personnes à mobilité réduite)					
6.4	Augmenter la mobilité dans le quartier					
6.5	Environnement (moins de pollution et de bruit)					
6.6	Autres					

Autres? _____

7. Est-ce que le trajet répond à vos besoins?

Oui	
Non	
Autre	_____

Section 3 : Expérience client de la navette

8. Selon vous le temps de parcours est-il

Très court	1	2	3	4	5	Très long
------------	---	---	---	---	---	-----------

9. Quel était votre niveau de confort lors de ce déplacement ?

Très inconfortable	1	2	3	4	5	Très confortable
--------------------	---	---	---	---	---	------------------

10. Selon vous, la navette roule à une vitesse

Très lente	1	2	3	4	5	Très rapide
------------	---	---	---	---	---	-------------

11. Selon vous la navette a-elle un freinage brusque?

Fortement en désaccord	1	2	3	4	5	Fortement d'accord
------------------------	---	---	---	---	---	--------------------

12. Selon vous, le nombre d'arrêt est-il suffisant ?

Très insuffisant	1	2	3	4	5	Très suffisant
------------------	---	---	---	---	---	----------------

13. Quel est votre niveau de satisfaction par rapport à la courtoisie de l'opérateur ?

Très insatisfaisant	1	2	3	4	5	Très satisfaisant
---------------------	---	---	---	---	---	-------------------

14. Selon vous, l'horaire du service est

Très insatisfaisant	1	2	3	4	5	Très satisfaisant
---------------------	---	---	---	---	---	-------------------

15. Vous sentez-vous en sécurité dans la navette ?

Très insécuritaire	1	2	3	4	5	Très sécuritaire
--------------------	---	---	---	---	---	------------------

16. Selon vous y a-t-il un risque de collision avec

	Très grand risque	Grand risque	Peu de risque	Pas du tout
Un autre véhicule				
Un cycliste				
Un piéton				

Section 4 : Caractéristiques du participant

20. Quel est votre genre

Homme	
Femme	
Ne souhaite pas répondre	

21. Quel âge avez-vous ?

18 à 34 ans	
35 à 50 ans	
51 à 65 ans	
66 à 74 ans	
Plus que 75 ans	
Ne souhaite pas répondre	

22. Êtes-vous

Travailleurs à temps plein	
Travailleur à temps partiel	
Étudiants	
Retraité	
Autre	
Ne souhaite pas répondre	

23. Votre plus haut niveau d'étude

Pas de diplôme	
Diplôme d'études secondaires	
Diplôme d'études collégiales	
Universitaire	
Ne souhaite pas répondre	

24. Avez-vous une condition physique qui influence votre déplacement

OUI	NON	Ne souhaite pas répondre
-----	-----	--------------------------

25. Quel est votre code postal

.....

26. Êtes-vous détenteur d'un permis de construire ?

Oui Non

Annexe IV : Grille d'entretien de groupe

Introduction

1. **Présentation des enquêteurs et tour de table** avec les questions suivantes :
 - Votre nom + Avez-vous entendu parler de la navette autonome ? Comment ? l'avez-vous essayé?
2. **Présentation du projet**
 - C'est un projet en collaboration avec le MTQ et la SAAQ
 - Nous évaluons divers aspects des projets pilotes des navettes autonomes à Candiac et Montréal pour l'été/automne 2019-2020.
 - Photo des navettes + du circuit, en parler brièvement.
3. **Les 2 objectifs de la discussion d'aujourd'hui**
 - on veut avoir *votre opinion en tant qu'utilisateur (potentiel) de navettes de la sorte : quels sont les raisons pour lesquelles vous prendriez ou pas ces navettes.*
 - on veut avoir votre opinion sur *les avantages et inconvénients à avoir de telles navettes dans votre ville ou dans un quartier.*

Activité 1 : critères d'acceptabilité

4. Quels sont les points les plus importants (selon vous), ce qui vous ferait choisir ce mode de transport pour certains de vos trajets. Et si c'était vous qui choisissez/ créez la navette, selon vous quel (s) élément (s) plus important à améliorer/ ajouter/ prendre en considération ?

(autre explication du contexte de l'activité : si je suis un opérateur qui veut mettre en place un service de navette, qu'est-ce que je devrais prioriser?)

- 3 tours de table avec la priorité 1,2,3
- 1 tour de table avec le critère le moins important (6)

<i>Sécurité routière des piétons, cyclistes</i>	<i>Sécurité routière des véhicules motorisés</i>	<i>Sécurité informatique (risque de piratage du logiciel faisant fonctionner le véhicule)</i>	<i>Perte d'emplois</i>	<i>Absence d'un opérateur/ d'une personne en charge dans la navette</i>	<i>Choix du trajet</i>	<i>Fréquence et fiabilité du service</i>
Pourquoi ?						

5. « **Y a-t-il d'autres défis, selon vous ?** » : discussion ouverte

6. *Questions complémentaires à demander lors de la discussion*

6.a. Pour quelle destination vous seriez prêt à prendre une telle navette?

6.b. En tant que piéton, cycliste ou automobiliste, **comment réagissez-vous en présence de cette navette sans conducteur ?** Pensez-vous qu'il y aura un impact sur **vos comportements**

6.c. Pensez-vous qu'il y aura un impact sur **les comportements des autres usagers?** (Respect des règles, réaction et réflexe des piétons, cyclistes, etc.).

6.d. Auriez-vous peur de prendre une telle navette? Pourquoi? (facultatif, si la discussion le permet)

Activité 2 : Avantage/ inconvénients perçus par les participants à court et moyen terme

7. Parmi ces éléments (sur vos post-it, les coller sur la feuille), lesquels seraient un avantage ou un inconvénient, ou n'aurait aucun effet.

- Sécurité routière et nombre d'accidents de la route
- Temps de transport (impact sur le trafic, congestion ou amélioration du temps de trajet pour les usagers)
- Mobilité des personnes à mobilité réduite

- Mobilité dans le quartier
- Écologie/ environnement
- *Discuter des choix des participants après les avoir regroupé dans les 3 colonnes*

8. « **Y a-t-il d'autres avantages et inconvénients possibles, selon vous ?** » :
discussion ouverte.

9. *Questions complémentaires à demander lors de la discussion :*

9.a. Quelle est selon vous la clientèle cible de ces navettes?

9.b. Êtes- vous optimistes / pessimistes par rapport aux navettes autonomes ?

Pourquoi ?

Activité 3 : Expérience des gens ayant essayé la navette (si applicable)

10. Pour ceux qui ont essayé la navette autonome, nous voulons savoir comment était votre expérience dans la navette? Par rapport au trajet, confort, vitesse, sécurité, le nombre d'arrêts, l'horaire et la courtoisie de l'opérateur.

11. Des choses à améliorer ?

Annexe V : Détails méthodologiques pour l'analyse des vidéos

❖ Homographie des images prises par caméra

Pour analyser les images, il est généralement nécessaire d'établir une relation entre les positions dans l'espace de l'image et les positions du monde réel. Ceci permet de projeter les coordonnées des usagers suivis du point de vue de la caméra, ce qui sera appelé l'« espace image », dans l'« espace du monde », soit les positions des usagers au niveau du sol. La relation qui relie les positions des usagers dans les images avec ces mêmes positions sur la surface de la terre, que l'on assume comme étant plane, est une homographie. La figure A-1 illustre cette opération.





Figure A-1 : Points de correspondances dans les deux espaces pour obtenir une homographie

Pour améliorer la qualité de la projection, il faut aussi corriger la distorsion de la caméra, ce qui nécessite d'estimer les paramètres intrinsèques et les coefficients de distorsion de la caméra. Ces derniers sont disponibles pour différents modèles de caméra et réglages de prise de vue².

Une fois les différentes matrices d'homographie calculées pour chacune des journées d'enregistrement, les positions des usagers à chaque instant sont déterminées. La méthode de « détection et suivi de points caractéristiques » a été employée dans le travail de Saunier et Sayed (2006). La figure A-2 présente un exemple de résultat de la technique employée.

² Voir le document de référence *Camera matrices and distortion coefficients* : [https://www.polymtl.ca/wikitransport/index.php?title=Equipment#Camera Matrices and Distortion Coefficients](https://www.polymtl.ca/wikitransport/index.php?title=Equipment#Camera_Matrices_and_Distortion_Coefficients)



Figure A-2 : Exemple de détection et de suivi (trajectoire des points caractéristiques sur des usagers (au-dessus) et de leur regroupement par usager (en-dessous))

❖ **Optimisation de la détection des usagers de la route à l'aide de l'outil NOMAD**
Étant donné que la méthode de suivi n'est pas parfaite, des vidéos ont été annotées manuellement et les paramètres de suivis ont été optimisés à l'aide de l'outil NOMAD. Le tableau A-1 illustre les améliorations apportées par l'outil. Le « MOTA » (« Multiple Object Tracking Performance ».) mesure le pourcentage des instants où un usager de la

route est présent qui sont bien détectés et suivis automatiquement : cet indicateur permet donc de comparer la qualité du suivi d'objets multiple. Il peut donc être noté que l'outil a permis une amélioration du suivi des usagers, sans pour autant être parfait.

Tableau A-1 : Améliorations apportées par l'outil NOMAD

Lieu	MOTA avant	MOTA après
letourneux-coubertin	0.617853065	0.735955155
letourneux-hochelaga	0.440104518	0.608232932
letourneux-ontario	0.63173773	0.87781515
montcalm-chartwell	0.627884525	0.727521464
montcalm-inverness	0.777351606	0.868788028
montcalm-victorin	0.620248012	0.718422865
montcalm-voie	0.64516081	0.898944631

❖ Calibration de l'algorithme de classification des usagers

Les vidéos annotées manuellement ont également été utilisées pour calibrer l'algorithme de classification des usagers. En effet, les vitesses des différents types d'usagers des vidéos annotées ont été utilisées pour ajuster les distributions de densité de probabilité associée à chaque classe (« cycliste », « piétons », « voiture ») prises en compte par la méthode de classification. Une catégorie a été attribuée pour chaque trajectoire selon sa probabilité d'appartenir aux différentes classes. Les trajectoires des navettes ont été annotées manuellement pour toutes les vidéos.

Références bibliographiques

Saunier, Nicolas et Tarek Sayed. 2006. A feature-based tracking algorithm for vehicles in intersections. In *The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'06)*, : IEEE.