

MARS 2020

EXEMPLES DE SCÉNARIOS ET RECOMMANDATIONS À L'ÉGARD DE L'UTILISATION DES VÉHICULES AUTONOMES ÉLECTRIQUES EN MILIEU URBAIN

RAPPORT DE RECHERCHE



EXEMPLES DE SCÉNARIOS ET RECOMMANDATIONS À L'ÉGARD DE L'UTILISATION DES VÉHICULES AUTONOMES ÉLECTRIQUES EN MILIEU URBAIN

Soumaya Cherkaoui

Nathalie Drouin

Félix-Antoine Simoneau

MARS 2020

KHEOPS
Consortium international de recherche
sur la gouvernance des grands projets
d'infrastructure

ISBN : 978-2-9818612-3-8

Dépôt légal : 2020

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Bibliothèque et Archives Canada

*Ce document est disponible dans son intégralité en ligne
et en format PDF à l'adresse www.kheops.ca*

NOTES SUR LES AUTEURS

Soumaya Cherkaoui | Université de Sherbrooke

Soumaya Cherkaoui se prévaut d'une longue expérience de recherche dans le domaine des véhicules autonomes et connectés, et en systèmes de transports intelligents. Elle est professeure titulaire au Département de génie électrique et génie informatique de l'Université de Sherbrooke qu'elle a joint en 1999. Pendant plus de 10 ans, elle a dirigé 3 projets pancanadiens du réseau de centre d'excellence canadienne AUTO21, sur les véhicules connectés et les systèmes automatisés de conduite avec emphase sur la sécurité routière. Ses travaux dans le domaine ont abouti à de nombreuses publications internationales.

Nathalie Drouin | KHEOPS

Nathalie Drouin est directrice générale de KHEOPS - Consortium international de recherche sur la gouvernance des grands projets d'infrastructure. Elle est professeure à l'école des Sciences de la gestion de l'Université du Québec à Montréal depuis plus de 15 ans et professeure adjointe à l'Université des technologies de Sydney, en Australie, où elle a également été reçue professeure éminente invitée (*Distinguished Visiting Scholar*). Aussi membre du comité d'audit de Parc Canada et rédactrice en chef de *l'International Journal of Managing Project in Business*, ses activités de recherche se concentrent sur la gestion organisationnelle de projet et sur le leadership au sein des projets.

Félix-Antoine Simoneau | Université de Sherbrooke

Enseignant de géographie à l'Université de Sherbrooke et au Cégep de Sherbrooke, Félix-Antoine Simoneau travaille également comme professionnel de recherche à l'Université de Sherbrooke. Il a été impliqué dans divers projets qui s'apparentent à l'utilisation des nouvelles technologies. Spécialisé dans la modélisation d'applications mobiles et l'intégration de la technopédagogie en classe, il s'intéresse de près à l'utilisation des avancées technologiques comme moteur de changement comportemental. Son expertise dans le domaine de la géographie, de la cartographie et de l'aménagement du territoire lui permet de porter un regard critique face à l'intégration des véhicules électriques et autonomes sur le territoire.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Contexte et mandat

Depuis quelques années déjà, les avancées technologiques associées au domaine des transports routiers apportent leur lot de complexités et de questionnements. La transformation progressive des véhicules actuels en véhicules électriques et autonomes s'apprête à bouleverser les habitudes de mobilités des personnes. Pour plusieurs, ces changements vont engendrer une modification profonde du domaine des transports, à travers laquelle les différents acteurs et les différents types de déplacements vont partager une vision commune et coopérative. Une vision à travers laquelle la mobilité des personnes sera accentuée, mais desservie par des alternatives s'opposant à la possession individuelle des véhicules.

Le présent rapport est dédié à la mobilisation des connaissances acquises et développées dans la réalisation de chacune des phases précédentes du projet de recherche. Dans cette quatrième et dernière phase de réalisation, deux scénarios possibles d'intégration des véhicules électriques et autonomes seront présentés et définis. Bien que les scénarios soient plus spécifiquement étudiés sur le territoire de la Ville de Montréal, certaines dimensions présentées dans ce rapport pourront être appliquées à d'autres zones urbanisées de la région métropolitaine de Montréal. De plus, des recommandations seront formulées afin de soutenir la prise de décisions en matière d'utilisation et d'adaptation des espaces et des infrastructures urbaines en prévision de l'implantation des véhicules électriques autonomes. Or, par la consolidation d'informations techniques, organisationnelles et comportementales, et la considération des spécificités du territoire montréalais, ce rapport formera la synthèse du projet de recherche entamé en début d'année 2019.

Exemples de scénarios

À la suite de la présentation de dix scénarios distinctifs d'applications, la Ville de Montréal et l'ARTM (*Autorité régionale de transport métropolitain*) ont décidé de prioriser l'étude de 2 d'entre eux. De fait, ce rapport présentera et clarifiera les deux scénarios suivants : 1- *Point de collecte fixe* ; 2- *MaaS : Mobility as a Service*, de manière à établir un cadre logique d'implantation sur le territoire métropolitain. C'est donc en utilisant les informations prélevées dans les précédentes phases de réalisation du projet de recherche et en les reliant aux réalités territoriales de la Ville de Montréal que cette section sera élaborée.

Recommandations

Diverses recommandations seront formulées en fin de rapport dans le but de soutenir la prise de décisions à l'égard de l'intégration des véhicules électriques et autonomes au territoire de la Ville de Montréal et à d'autres zones urbanisées de la région métropolitaine. C'est donc en se penchant sur les questions d'aménagement des infrastructures urbaines, notamment en fonction des espaces urbains, des stations de recharge et des politiques municipales, ainsi que sur les questions de transport et mobilité, particulièrement en fonction du transport en commun, des partenariats et des politiques municipales que des recommandations seront effectuées.

TABLE DES MATIÈRES

NOTES SUR LES AUTEURS	iii
SOMMAIRE EXÉCUTIF	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES.....	ix
1. INTRODUCTION	1
2. EXEMPLES DE SCÉNARIOS	2
2.1 Point de collecte fixe	2
2.1.1 Stratégies pour le choix d’emplacement	2
2.1.2 Contraintes d’aménagement	4
2.1.3 Logistique.....	7
2.1.4 Utilisation partagée	8
2.1.5 Conclusion.....	9
2.2 MaaS: Mobility as a Service	10
2.2.1 Écosystème de mobilité	10
2.2.2 Meilleures pratiques.....	12
2.2.3 Risques.....	17
2.2.4 Enjeux actuels.....	18
2.2.5 Conclusion.....	20
3. RECOMMANDATIONS	21
3.1 Aménagement des infrastructures urbaines	21
3.1.1 Espaces urbains	21
3.1.2 Stations de recharge.....	23
3.1.3 Politiques municipales et métropolitaines.....	25
3.2 Transport et mobilité.....	27

3.2.1	Transport en commun	27
3.2.2	Partenariats.....	29
3.2.3	Politiques municipales et métropolitaines.....	30
4.	CONCLUSION	34
	RÉFÉRENCES.....	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aménagement d'une zone de dépôt et de collecte de passagers [12].....	5
Figure 2 : Système de recharge par induction statique [17]	6
Figure 3 : (a) Plan simplifié de disposition des boucliers de recharge par induction statique (b) Plan simplifié de disposition d'une voie de recharge par induction dynamique	7
Figure 4 : Unification de l'offre de services MaaS [24]	10
Figure 5 : Structure d'écosystème de mobilité intégrée [27].....	11
Figure 6 : Courbe de fonctionnalité et de maturité d'une plateforme numérique MaaS [30]	13
Figure 7 : Exemple d'interface pour une application mobile MaaS.....	14
Figure 8 : Modèle d'efficacité spatiale et temporelle des différents modes de transport [40].....	19
Figure 9 : Reconfiguration de la rue avant et après le déploiement des véhicules autonomes [11].....	22
Figure 10 : (a et b) Recharges par induction statique [49].....	24
Figure 11 : Recharge par induction dynamique [50]	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre d'entrées effectuées dans les 5 stations de métro les plus achalandées de Montréal [10]	3
Tableau 2 : Synthèse de projets MaaS actuellement en fonction [33]	15
Tableau 3 : 10 éléments à intégrer à la planification gouvernementale [5]	32

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

ARTM	Autorité régionale de transport métropolitain
CMIM	Centrale de Mobilité Intégrée Métropolitaine
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PPP	Partenariat Public-Privé
STM	Société de transport de Montréal

1. INTRODUCTION

La réalisation des précédentes phases de ce projet de recherche a pu relever un bon nombre d'éléments pertinents dans l'intégration des véhicules électriques et autonomes sur les territoires urbains. C'est en étudiant particulièrement les différents types d'utilisation du sol, les impacts sur les activités urbaines ainsi que les comportements de mobilités des personnes à l'égard de l'adoption des véhicules autonomes que les principaux constats ont pu être émis. La littérature consultée a permis de constater que les impacts de cette utilisation sur le territoire urbain allaient être tributaires de la façon dont les véhicules allaient être utilisés : en mode privé ou en mode partagé. Ainsi, lors d'une utilisation principalement privée, la littérature prévoit une hausse du nombre de voitures présentes sur les routes, une hausse de la circulation et de la congestion, un exode vers les banlieues les plus éloignées du centre urbain, un délaissement progressif des services de transports en commun, un agrandissement des infrastructures routières, une baisse de la vitalité des centres urbains et une baisse des valeurs foncières urbaines au profit des banlieues avoisinantes. Dans le cas où l'utilisation priorisée serait partagée, la littérature prévoit plutôt une consolidation des noyaux urbains et une hausse de la densité démographique dans les centres, une diminution de la circulation et de la congestion, une hausse de l'efficacité du réseau routier, une hausse de l'efficacité des systèmes de transport en commun, une réduction des infrastructures majeures, une revitalisation des centres urbains et une hausse des valeurs foncières en ville. De plus, dans l'un ou l'autre des cas mentionnés, la littérature prévoit une hausse globale du nombre de déplacements, une délocalisation de plusieurs espaces de stationnement, une adaptation et une autonomisation des bornes de recharges ainsi qu'une réappropriation de plusieurs espaces urbains.

Le présent rapport sera principalement axé sur la présentation de deux scénarios possibles en vue d'amorcer le développement de projets de mobilité autonome dans la métropole montréalaise. C'est donc à la suite de la proposition de dix scénarios distinctifs que la Ville de Montréal et l'ARTM (Autorité régionale de transport métropolitain) ont priorisé d'approfondir les scénarios suivants : 1- Circulation de véhicules autonomes avec un point de collecte fixe des passagers, 2- Développement d'un système de *MaaS* (Mobility as a Service). Les deux scénarios seront ainsi exposés en fonction de leurs spécificités d'implantation sur le territoire, mais également en fonction de leur complémentarité avec la réalité urbaine de la région métropolitaine de Montréal.

Finalement, au terme de la réalisation de ce rapport, des recommandations à l'égard de l'utilisation des véhicules autonomes électriques dans un contexte de mobilité urbaine seront émises. Il sera question des principaux éléments à considérer dans l'aménagement des infrastructures urbaines, mais également des éléments essentiels à prendre en compte dans la mise en place d'un système de transport et de mobilité automatisé. Pour ce faire, un accent sera porté sur la préparation de la venue de ce nouveau mode de transport et sur la viabilité de l'intégration des voitures autonomes dans un système de mobilité urbaine. Le rapport abordera notamment la notion des espaces urbains, des stations de recharge, des transports en commun, des différents types de partenariats et des politiques municipales.

2. EXEMPLES DE SCÉNARIOS

2.1 POINT DE COLLECTE FIXE

Ce scénario étudie la possibilité d'implanter un service de transport par l'utilisation des voitures autonomes dans un point de fort achalandage de la Ville de Montréal. Il vise donc à offrir la possibilité aux personnes se trouvant sur les lieux de l'endroit sélectionné d'utiliser les services d'une voiture autonome partagée afin d'effectuer leurs déplacements. Les véhicules autonomes auraient donc un point fixe de départ, mais pourraient circuler sur l'entièreté du réseau routier de la région métropolitaine de Montréal afin de déposer leurs passagers. Suite au dépôt des passagers, les véhicules retourneraient au point de collecte fixe, ce qui simplifierait grandement leur répartition sur le territoire. De cette façon, aucune demande de service ne serait traitée par le biais de réservations. Toutes les demandes devraient s'effectuer physiquement sur le lieu désigné. Ainsi, si un véhicule se trouve positionné en attente dans l'espace d'embarquement, le client potentiel saurait qu'il pourrait en recevoir les services aussitôt. Inversement, si aucun véhicule ne se trouve dans l'espace d'embarquement, le client potentiel saurait qu'il devrait attendre la venue d'un véhicule avant de recevoir les services. Par souci d'efficacité, il serait pertinent de prévoir l'affichage en temps réel des données de circulation des différents véhicules pour ainsi prévoir les arrivées prochaines au point d'embarquement. De fait, en connaissance du temps d'attente, les utilisateurs pourraient prendre une décision éclairée à l'égard de l'utilisation des services de mobilité autonome.

2.1.1 STRATÉGIES POUR LE CHOIX D'EMPLACEMENT

La sélection du point de prise en charge devrait être faite avec grande précaution. Le site devrait être un endroit avec un achalandage relativement constant et à grand volume afin d'assurer un maximum de visibilité au projet. La littérature en fait mention : plus les personnes sont placées en contexte d'utilisation des véhicules autonomes et plus ils côtoient les voitures, plus ils sont susceptibles de vouloir les utiliser sur une base régulière [1]. Ainsi, un tel projet pourrait promouvoir l'utilisation des véhicules autonomes et par le fait même, avoir une influence quant à l'acceptabilité sociale de ce nouveau mode de transport [2]. Le site devrait également permettre la prise en charge d'un maximum d'utilisateurs afin d'illustrer les avantages de l'utilisation des véhicules autonomes sous la forme d'offre de mobilité de services. Bien que le projet puisse être attrayant pour la population au niveau de l'utilisation des nouvelles technologies de mobilité, il serait souhaitable que la mise en place de ce projet puisse également devenir bénéfique à l'égard de l'allègement du volume de la circulation routière. Or, si la mise en œuvre de ce projet pouvait convaincre un certain nombre d'utilisateurs du système de la route de délaissé leur voiture personnelle au profit de l'utilisation de l'offre de services offerte par les véhicules autonomes, cela pourrait devenir très bénéfique pour la circulation routière métropolitaine si ces véhicules autonomes sont utilisés en mode partagé. Les résultats d'une étude effectuée à l'Université de Berkeley en Californie [3] l'ont démontré : chacune des voitures partagées ajoutées sur les routes pourrait compenser l'utilisation de 7 à 11 voitures en mode privé. Voilà donc une bonne occasion de faire la promotion de la mobilité autonome tout en atténuant les impacts de l'engorgement routier.

Plusieurs emplacements de la Ville de Montréal et de la région métropolitaine de Montréal pourraient accueillir un tel projet. Toutefois, nous suggérons un point de transit de transport en commun achalandé. La mobilité autonome permettrait d'offrir aux utilisateurs des services de transport en commun une solution alternative et efficace pour parcourir les derniers kilomètres les séparant de leur destination. La littérature fait régulièrement référence au principe d'intermodalité des premiers et derniers kilomètres [4, 5, 6], à travers lequel l'utilisation des transports en commun et des services de mobilité autonome se partagent la distance de déplacement des usagers. Selon ce principe, les modes de transports publics deviennent les principaux responsables des déplacements de longues distances tandis que les services de mobilité autonome deviennent responsables des déplacements de courtes distances séparant les lieux de transit du domicile ou de la destination. Ainsi, pour la mise en place de ce projet, nous suggérons la sélection d'une station de métro achalandée ou encore du complexe de la Gare Centrale de Montréal. Ce choix s'oriente volontairement sur le territoire de la Ville de Montréal plutôt que celui de la grande région métropolitaine afin de minimiser les incitatifs de transport qui pourraient accentuer le phénomène d'étalement urbain. À titre indicatif, le tableau 1 présente le nombre d'entrées faites dans les 5 stations de métro les plus achalandées en 2017-2018. Ces données devraient être prises en considération au moment de la sélection du lieu d'implantation du projet. Par ailleurs, l'ajout de services de mobilité autonome dans un point de fort achalandage pourrait devenir un réel incitatif à l'utilisation des transports en commun. Plusieurs auteurs en font mention [7, 8, 9], dans un contexte d'intégration des véhicules autonomes au réseau routier, la survie des transports en commun doit passer par l'utilisation intermodale des différents modes de transport, notamment les voitures autonomes. C'est donc en encourageant les personnes à délaisser leur voiture personnelle et à opter pour une utilisation combinée des différents modes de transport que l'avenir des transports publics sera assuré.

Tableau 1 : Nombre d'entrées effectuées dans les 5 stations de métro les plus achalandées de Montréal [10]

STATIONS LES PLUS ACHALANDÉES (ENTRÉES)			
Station		2018	2017
1	Berri-UQAM	12 393 299	12 110 105
2	McGill	11 464 736	11 305 307
3	Guy-Concordia	9 559 923	8 976 542
4	Bonaventure	9 162 774	8 710 407
5	Longueuil-Université-de-Sherbrooke	8 195 084	7 913 616

2.1.2 CONTRAINTES D'AMÉNAGEMENT

La mise en œuvre de ce projet sur le territoire urbain de la Ville de Montréal devrait s'effectuer avec un léger aménagement de l'espace occupé par les voitures autonomes au point de collecte [11]. Comme les véhicules reviendraient toujours au même endroit afin d'effectuer la collecte des passagers, un espace spécifique devrait être réservé et aménagé afin de pouvoir ramasser les passagers sans perturber la circulation routière. Ainsi, une zone séparée de la voie de circulation devrait être aménagée. Dans cette zone, les voitures autonomes pourraient attendre les unes derrière les autres en progressant tranquillement vers le point d'embarquement des passagers. La zone devrait donc être suffisamment spacieuse afin de permettre l'attente de plusieurs voitures. De plus, la zone d'embarquement devrait être munie d'une aire d'attente spacieuse et conviviale pour les clients. Cette aire d'attente devrait posséder du mobilier urbain et des commodités accueillantes afin de stimuler l'utilisation du service à son maximum. La littérature en fait mention [12] : pour que l'offre de services soit pleinement maximisée, l'expérience client doit être positive et donc, convenablement réfléchie avant la mise en place du projet. C'est selon ce principe que les villes de Los Angeles, Anaheim, Rochester, Philadelphie, Portland (Oregon), New Jersey, Denver, Détroit et Atlanta ont décidé de mettre en valeur certains éléments de leur mobilier urbain afin de favoriser leur fonctionnalité, mais également de stimuler leur utilisation [13]. Ces municipalités ont aussi opté pour un mobilier urbain flexible qui pourra s'adapter aux changements de la demande dans les transports et répondre aux besoins grandissants des services de transport sur demande (ex. : aires d'attente, aménagements paysagers, art public, systèmes d'affichage, informations sur demande, offres de services, toilettes publiques, etc.). On suggère également de porter une attention particulière à l'aménagement de la zone de collecte afin qu'elle puisse prendre en compte l'harmonisation de l'architecture des édifices avoisinants. Les recherches [14] envisagent l'élaboration de nouvelles normes de construction qui permettraient de répondre aux nouveaux besoins de mobilité offerts par les véhicules autonomes. Ce projet pourrait devenir porteur du principe de développement *Smart Buildings* en misant sur l'interactivité architecturale des édifices et des nouveaux espaces de mobilité autonome.

La figure 1 illustre la façon dont les zones de débarcadères devraient être construites afin de maximiser l'efficacité du dépôt et de la collecte des passagers dans un système de transport partagé faisant l'utilisation des véhicules autonomes. Bien que dans le cas échéant, l'aménagement d'une zone de dépôt des passagers ne serait pas nécessaire, tous les éléments relatifs à l'aménagement de la zone de collecte seraient à considérer. Selon diverses études [11, 12], la conformité d'aménagement des aires de collecte ou de débarquement pourrait être un facteur significatif dans l'utilisation des services de mobilité autonome.

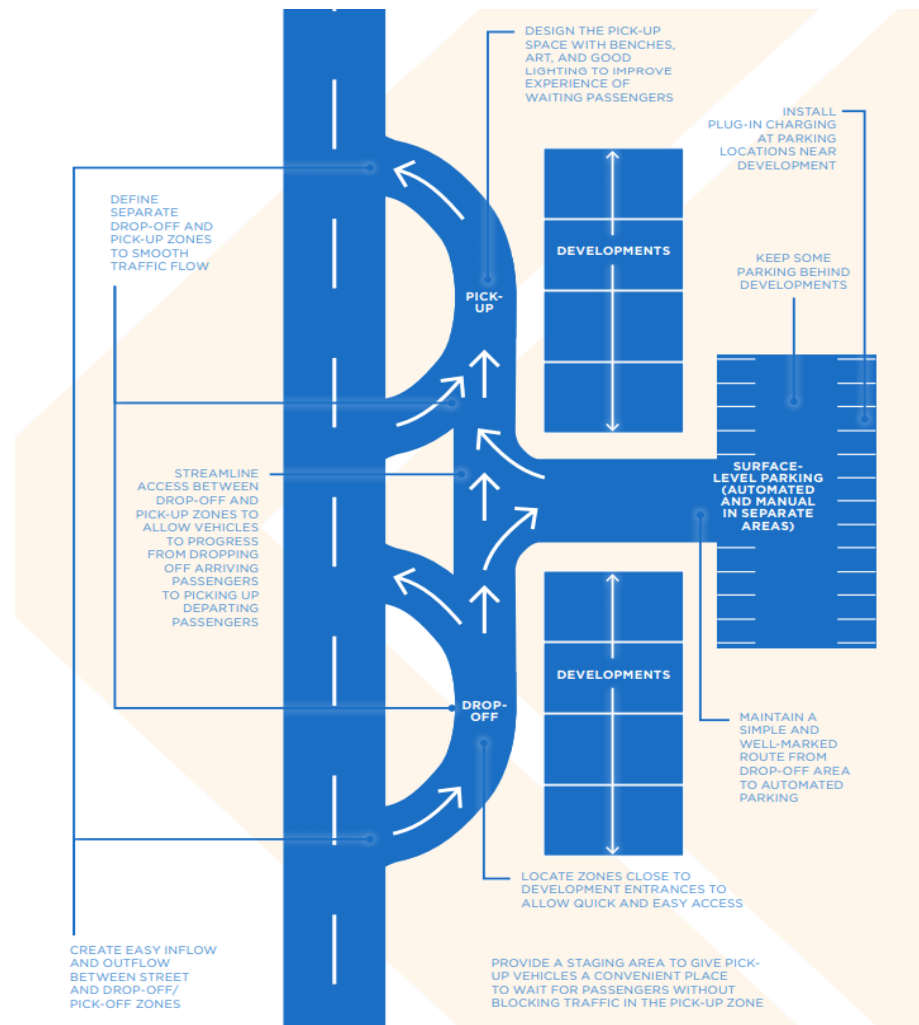


Figure 1 : Aménagement d'une zone de dépôt et de collecte de passagers [12]

La figure 1 propose l'aménagement et l'utilisation d'un stationnement étagé de proximité qui serait relié au point de débarcadère et sur lequel des bornes de recharge conventionnelles seraient installées dans le but de permettre aux voitures de s'y stationner et de se recharger. Cette stratégie pourrait effectivement être pertinente dans ce scénario d'implantation, mais nécessiterait un espace très vaste afin d'aménager le stationnement. Or, en replongeant dans la phase 2 du projet de recherche, nous avons pu trouver des modes de chargement qui ne nécessiteraient aucune intervention humaine, aucun contact avec le véhicule et qui pourraient assurer un gain d'espace considérable : les systèmes de recharge par induction statique et par induction dynamique [15, 16]. Les systèmes de rechargement à induction statique impliqueraient l'installation de plaquettes (boucliers) à des endroits stratégiques et par-dessus lesquels les voitures autonomes pourraient s'immobiliser afin de se recharger partiellement ou totalement. La figure 2 démontre ce à quoi pourrait ressembler l'utilisation des recharges à induction statique en territoire urbain.



Figure 2 : Système de recharge par induction statique [17]

Dans le cas du scénario de point de collecte fixe, les boucliers pourraient être installés directement au sol dans la zone d'embarquement. De cette façon, les voitures pourraient profiter du moment d'attente des clients pour faire le plein d'énergie. Toutefois, puisque les systèmes de rechargement par induction statique ne fonctionnent que si la voiture est immobilisée au bon endroit [15], il serait préférable d'avoir plusieurs boucliers installés au sol, à égale distance les uns des autres, afin de permettre aux voitures de maximiser leur temps de chargement. La figure 3(a) illustre l'aménagement suggéré de façon très simplifiée. On remarque qu'avec un tel système, les voitures bénéficieraient de cinq points de chargement distincts par-dessus lesquels chacune des voitures pourrait s'immobiliser quelque temps pendant le processus de prise en charge des passagers. Évidemment, le nombre de boucliers pourrait varier en fonction du nombre de voitures autonomes formant la flotte et la vitesse de circulation des voitures dans la zone de collecte des passagers. Plus les véhicules seraient en demande, moins ils passeraient de temps stationnés au même endroit dans la zone d'embarquement. Dans ce cas, plusieurs boucliers seraient nécessaires à la recharge des véhicules. Inversement, dans une situation où les véhicules passeraient de longs moments à attendre les passagers dans la zone d'embarquement, quelques boucliers suffiraient à la recharge de la flotte de véhicules autonomes électriques.

L'utilisation d'un système de recharge par induction dynamique différencierait du système précédemment décrit puisqu'avec ce type de rechargement, les véhicules pourraient être en mouvement [16]. Cela pourrait donc assurer un minimum de rechargement à chacune des voitures, et ce, peu importe la vitesse de circulation dans la zone d'embarquement. Ainsi, dans une période de fort achalandage, où les véhicules n'auraient pas le temps de s'immobiliser dans la zone d'embarquement (à l'exception du moment de prise en charge des passagers), les véhicules pourraient tout de même bénéficier d'un court moment de recharge à grande capacité. La figure 3(b) illustre ce à quoi pourrait ressembler l'installation souterraine d'un système de recharge par induction dynamique.

Il est à noter que pour chacun de ces modes de rechargement, la surface au sol devrait être dégagée afin d'assurer le bon fonctionnement du procédé de recharge. Or, pour l'installation de l'un ou l'autre de ces

systèmes, nous suggérons de prévoir un dispositif qui pourra conserver la chaussée dégagée, même en période hivernale : chaussée couverte, chaussée chauffante, voie de circulation intérieure, etc.

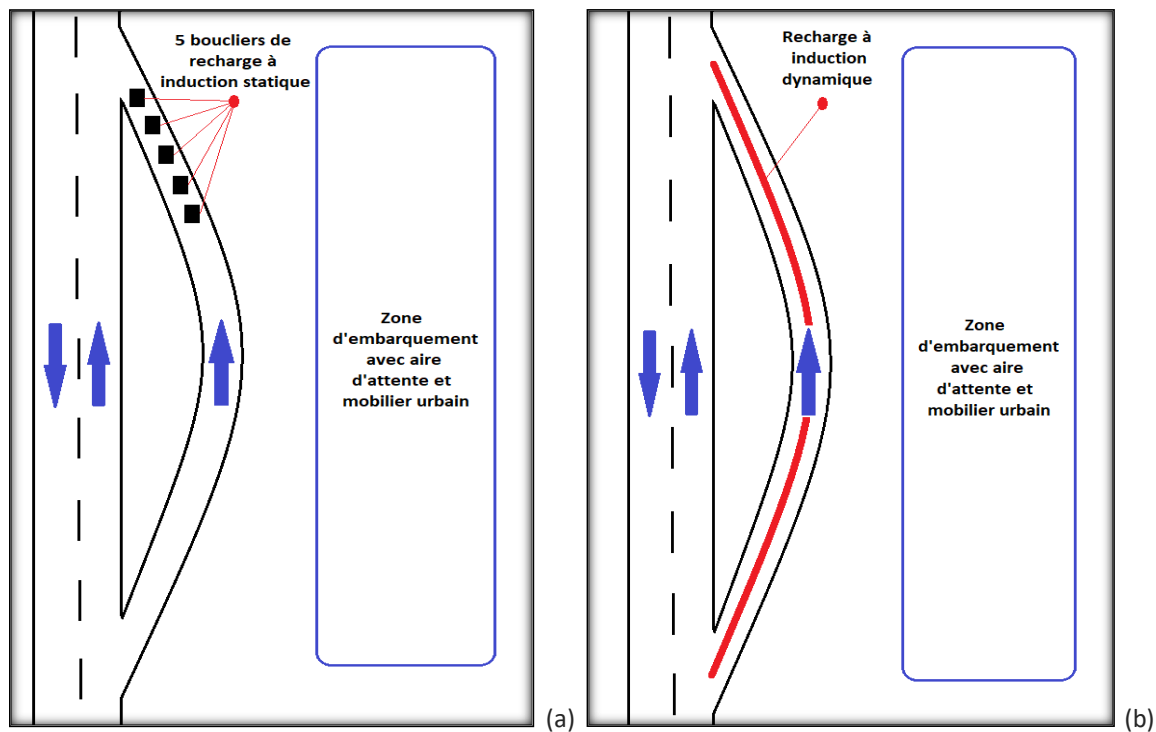


Figure 3 : (a) Plan simplifié de disposition des boucliers de recharge par induction statique (b) Plan simplifié de disposition d'une voie de recharge par induction dynamique

2.1.3 LOGISTIQUE

Dans le cas où plusieurs de point de collecte fixe seraient choisis, la répartition des voitures sur le territoire pourrait se faire en suivant la stratégie réactive ou la stratégie proactive [18]. Selon ces différentes stratégies, la collecte des usagers sur le territoire se ferait de façons très différentes. Dans la stratégie réactive, la voiture en service attendrait le moment de déposer les usagers avant d'établir le plan de son prochain déplacement. Ainsi, selon cette stratégie, les voitures seraient en mode réactif quant à la façon dont elles gèreraient les demandes de services sur le territoire. La stratégie proactive, quant à elle, propose plutôt aux voitures de se positionner de façon à desservir les points de fortes demandes en fonction des différentes périodes de la journée. Ainsi, les voitures pourraient, sans même recevoir de demande de services, se diriger à vide vers l'emplacement anticipé où la demande risquerait d'être la plus forte. Différents essais effectués sur le territoire de la France ont démontré que la stratégie proactive pouvait être jusqu'à 25 % plus performante que la stratégie réactive, principalement en raison du nombre de kilomètres parcourus par les voitures et le temps d'attente de la clientèle. Dans le cas échéant, le scénario proposé s'orienterait davantage vers l'utilisation d'une stratégie proactive que d'une stratégie réactive. Bien que légèrement différent de chacune des stratégies définies, le déploiement des véhicules sur le territoire serait

effectué en fonction d'un retour immédiat vers le point fixe sélectionné. À la fin de la course, les voitures seraient donc appelées à se rediriger directement vers un emplacement connu sans avoir à attendre un nouvel appel de service. Ainsi, le rôle des voitures serait simplifié et permettrait de faciliter la mise en place de projet d'initiation à la mobilité autonome sur le territoire de Montréal.

2.1.4 UTILISATION PARTAGÉE

Afin de promouvoir l'utilisation partagée des véhicules autonomes, nous suggérons qu'une politique de tarification avantageuse et favorisant le partage soit mise en place. Certaines études en font mention [19] : pour être compétitif et attirer le plus possible de clients, le coût d'utilisation des services de mobilité autonome devrait être aussi bas que le permettent les coûts technologiques et d'exploitation. D'un autre côté, les prix d'utilisation ne devraient pas être inférieurs à ceux de l'utilisation des transports publics. Puisque le but est d'offrir un service de déplacement multimodal qui inclut l'utilisation des services de transports publics et des voitures autonomes, il ne faudrait surtout pas que le coût d'utilisation des voitures autonomes vienne mettre en péril l'utilisation des transports publics. Pour ce qui est de la promotion d'un usage partagé des véhicules autonomes, et sans vouloir déterminer les tarifs qui seront jugés comme adéquats, nous proposons une diminution de prix des services proportionnelle au nombre de personnes qui prennent place dans chacun des véhicules. Ainsi, dans le cas où une personne voyagerait seule à bord d'un véhicule, elle devrait déboursier le montant déterminé pour la longueur ou la durée du déplacement. En revanche, dans le cas où deux personnes feraient le même trajet, le coût total devrait prévoir le montant déterminé par la longueur ou la durée du trajet duquel on devrait soustraire un montant préétabli pour une personne supplémentaire dans le véhicule. Dans le cas où il y aurait trois personnes dans le véhicule, le coût total devrait prévoir le montant déterminé en fonction de la longueur ou de la durée du trajet duquel on devrait soustraire deux fois le montant préétabli pour une personne supplémentaire. Et ainsi de suite. De cette façon, il deviendrait nettement avantageux pour les utilisateurs d'organiser des déplacements avec un haut taux d'occupation des véhicules. Cela permettrait de diminuer le volume de circulation sur les voies routières métropolitaines, de diminuer la consommation énergétique et d'encourager les citoyens à modifier leurs habitudes de déplacement dans le but de favoriser le partage des véhicules autonomes [20].

Par souci de simplification, ce scénario étudié vise essentiellement à faire la collecte des passagers toujours au même endroit. Toutefois, il devient pertinent de se questionner à l'égard de la possibilité d'effectuer des transports d'usagers dans le sens opposé (sur le chemin du retour) afin de limiter la circulation à vide des véhicules autonomes. En ce sens, il serait très profitable de maximiser l'utilisation des véhicules et par le fait même, d'augmenter le taux d'occupation de ces derniers. Cette stratégie, quoique souhaitable pour l'efficacité du système routier municipal, engendrerait cependant diverses complications dans son implantation. Des travaux effectués au MIT en ont fait l'expérience : la gestion efficace de l'information est un facteur essentiel au bon fonctionnement de l'offre de services [21]. Afin d'assurer la collecte de passagers sur le chemin du retour, les véhicules autonomes devraient inévitablement être munis d'un système de réception des demandes de services, d'une reconnaissance de proximité géographique et d'un système de communication avec les autres voitures formant la flotte. De plus, il faudrait également prévoir un système informatisé, forcément accessible en version mobile, qui permettrait aux utilisateurs du service de faire la demande de collecte sur le territoire de la municipalité. Une option simplifiée permettant de limiter la circulation à vide serait de sélectionner plusieurs points de collecte fixe sur le territoire urbain en

fonction des habitudes de déplacements des citoyens de la ville. Un projet d'étude implanté sur le territoire de Singapour [22] en a fait l'expérience et il s'est avéré bénéfique. Ainsi, le fait de prévoir les lieux de collecte en tenant compte des lieux d'achalandage et des directions de déplacement pourrait limiter de beaucoup la circulation à vide des véhicules. Afin d'être performant, le réseau formant les différents points d'embarquement devrait être réparti de façon à couvrir les principales routes empruntées par les voyageurs urbains. De fait, une voiture pourrait quitter le point principal d'embarquement, déposer la ou les personnes qui prennent place dans le véhicule pour ensuite se diriger vers un deuxième point d'embarquement sélectionné. Évidemment, ce genre de planification serait de plus grande envergure et nécessiterait un plus grand nombre de véhicules, mais permettrait de maximiser l'utilisation des véhicules autonomes et l'offre de services d'accompagnement sur le territoire métropolitain.

En dernier lieu, en cas de mise en opération de ce scénario, nous suggérons de miser sur le caractère évolutif du projet afin que celui-ci puisse s'adapter aux phases subséquentes de développement de la mobilité autonome à Montréal. Inévitablement, plusieurs autres projets verraient le jour dans les années à venir. Le projet de mise en place de ce scénario devrait donc pouvoir s'intégrer aux futurs développements de manière à unifier l'écosystème de transport de la métropole.

2.1.5 CONCLUSION

L'étude du scénario relatif à l'utilisation d'un point de collecte fixe pour les véhicules autonomes montre que l'implantation d'un tel service de déplacement sur le territoire de la Ville de Montréal ou ailleurs sur le territoire de la région métropolitaine doit tenir compte de plusieurs éléments distincts. Tout d'abord, le choix de l'emplacement devrait être fait avec un grand soin afin d'assurer la meilleure utilisation possible de l'intermodalité des différents modes de transport et la meilleure visibilité possible du service. Les services offerts par les voitures autonomes devront tenir compte des différentes options de mobilité durable déjà en place afin d'en assurer la complémentarité. Par la suite, l'aménagement du site devrait inclure certaines spécificités telles que l'aménagement d'un espace de collecte, une aire d'attente conviviale munie de mobilier urbain ainsi qu'un système de rechargement des véhicules autonomes électriques. Puis, dans le but d'augmenter le taux d'occupation des véhicules, il est suggéré de mettre sur pied des stratégies de tarification avantageuses pour le partage. Finalement, afin de minimiser la circulation à vide des véhicules, l'étude du scénario relève la possibilité d'implanter plusieurs points de collecte fixes, qui permettraient de desservir les principales routes empruntées par les voyageurs urbains.

Finalement, si le motif principal de l'implantation du scénario est de tester la faisabilité d'un service de mobilité autonome sur le territoire de la Ville de Montréal ou ailleurs sur le territoire de la région métropolitaine nous suggérons l'utilisation d'un seul point d'embarquement afin d'en faciliter une première implantation. En revanche, si la préoccupation entourant la surcharge du système routier et le volume de circulation figure au premier plan dans le processus d'implantation du scénario, nous suggérons l'utilisation de plusieurs points d'embarquement qui desserviraient les principales lignes de la mobilité urbaine du territoire, conjointement avec une stratégie proactive de distribution des véhicules autonomes.

2.2 MAAS: MOBILITY AS A SERVICE

Le principe de mobilité sur demande défini par le concept de *MaaS* est apparu vers 2014 [9]. Il décrit une stratégie de réorganisation du système de transport en proposant des alternatives à la possession privée des véhicules. Il prône une vision plus durable de la mobilité urbaine, en suggérant une intermodalité de plusieurs modes de transport [23, 24]. La mobilité de services vise à améliorer l'efficacité et l'accès à la mobilité urbaine grâce à de nouvelles offres de services et à l'accès à des plateformes numériques novatrices. Ainsi, l'idéologie derrière ce principe de mobilité est de combiner l'utilisation des modes de transport partagé, public et actif afin de les unir tous sous une offre de services sur demande, conviviale, facile d'utilisation et à paiement unique. De nombreuses villes du monde sont présentement en train d'explorer et d'expérimenter les meilleures façons de déployer des réseaux de mobilité *MaaS* afin d'optimiser les avantages offerts aux utilisateurs et aux fournisseurs [25]. La figure 4 illustre l'unification de l'offre de services proposée par le système *MaaS* en tenant compte notamment de la simplification du mode de paiement.

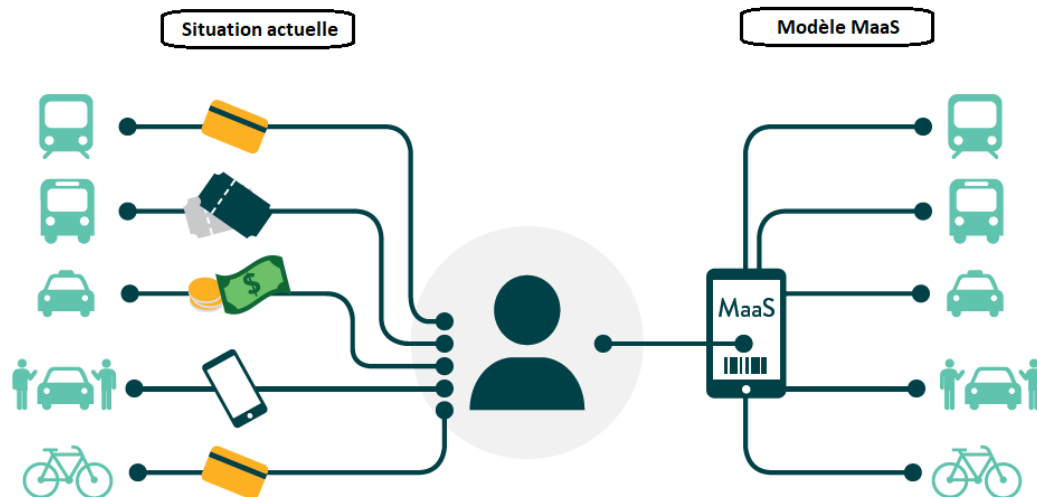


Figure 4 : Unification de l'offre de services MaaS [24]

2.2.1 ÉCOSYSTÈME DE MOBILITÉ

Dans le contexte de *MaaS*, l'écosystème réfère à l'association et aux liens existants entre les différents aspects du transport et de l'environnement numérique. Ceux-ci peuvent inclure à la fois le réseau de transport, l'environnement politique, l'architecture numérique et tous les autres éléments impliqués dans la création d'un service de mobilité sur demande [26]. Dans son dépôt de candidature au Défi des villes intelligentes du Canada en 2019, la Ville de Montréal a formellement identifié le désir de développer une plateforme numérique de services de mobilité. Dans son document de candidature [27], la ville identifie deux pôles de développement, à travers lesquels la mobilité urbaine tient une place très importante. Dans le but d'améliorer le système de mobilité urbaine, on y présente une structure d'écosystème de mobilité

intégrée qui permettrait aux opérateurs et aux clients applicatifs de s'intégrer dans une CMIM (Centrale de Mobilité Intégrée Métropolitaine). Cela permettrait d'organiser la complémentarité des différents modes de transport et de développer une structure fonctionnelle de déplacements intermodaux. La figure 5 présente la structure d'écosystème de mobilité intégrée, relevée dans le document officiel de candidature de la Ville de Montréal au Défi des villes intelligentes 2019. On y retrouve trois sphères de développement qui définissent les spécificités de l'interface numérique, les avantages offerts aux clients et les offres de mobilité prises en charge par le système. Cette figure définit également les interactions qui unissent chacune de ces sphères de développement et leurs impacts sur l'émergence d'une identité citoyenne.

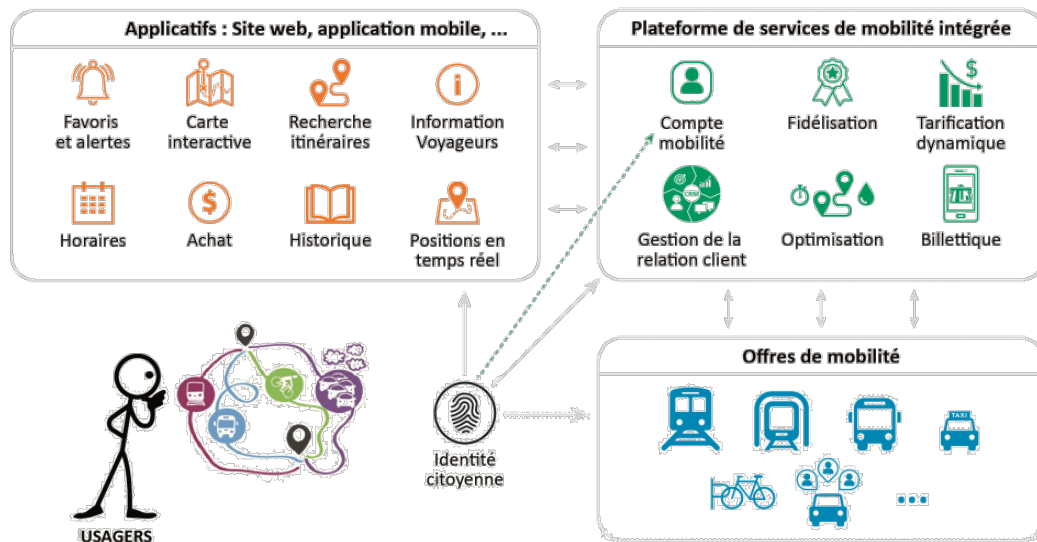


Figure 5 : Structure d'écosystème de mobilité intégrée [27]

Comme présenté dans la phase 3 de ce projet de recherche, divers types d'écosystèmes de mobilité, reliés à l'idéologie du *MaaS*, sont actuellement en développement. Un des plus complets, qui s'apparente de près à la vision montréalaise, serait celui proposé par le *Deloitte University Press* [28] qui se nomme l'écosystème de transport en action. Selon ce modèle, l'intégration des véhicules autonomes dans l'offre de services sur demande pourrait contribuer à l'émergence d'un système très performant. Pour ce faire, les véhicules autonomes seraient desservis en amont et en aval des grandes lignes de transport en commun et contribueraient aux déplacements des premiers et derniers kilomètres. De cette façon, l'intermodalité organisée du système de transport permettrait d'augmenter l'efficacité des déplacements et de diminuer les coûts de transport, relativement à l'utilisation de la voiture privée.

Le scénario étudié dans cette section du rapport mise sur le développement d'une structure de mobilité intégrée qui incorporerait l'utilisation des véhicules autonomes dans son offre de services. Il serait donc question de développer le système numérique de services de mobilité déjà modélisé par la Ville de Montréal à travers sa candidature pour le Défi de villes intelligentes canadiennes, mais d'y ajouter un élément distinctif et déterminant dans son offre de service : les voitures autonomes électriques. En conséquence, le scénario étudié prévoit l'ajout d'une flotte de véhicules autonomes sur le territoire de la

ville. L'étendue de la flotte pourrait varier en fonction de l'utilisation des services. À titre indicatif, des essais réalisés dans la région de Saclay en France [18] estiment qu'il nécessiterait en moyenne une voiture autonome de type taxi partagé pour suffire à l'ensemble des déplacements de 100 personnes. Cette estimation s'appuie exclusivement sur l'utilisation des voitures autonomes sur demande de type taxi partagé et non sur une utilisation intermodale avec les différents modes de transport, incluant les services de transport en commun. Or, dans un système qui miserait sur la complémentarité et l'intermodalité des différents modes de transport, tel que celui envisagé le présent scénario, une voiture autonome pourrait certainement contribuer aux déplacements de beaucoup plus de 100 personnes.

Dans un système d'offre de services de mobilité qui miserait sur l'intégration des véhicules autonomes électriques, l'intégration des véhicules devrait suivre le principe de micromobilité [14]. Ce principe consisterait à choisir le bon format de véhicules autonomes, ni trop petits, ni trop grands, pour assurer le déplacement des usagers sur de petites distances, particulièrement sur les premiers ou derniers kilomètres de la route parcourue. Ce principe pourrait assurer une meilleure fonctionnalité du système *MaaS* puisqu'il arriverait à desservir efficacement les usagers des services de mobilité sur demande tout en minimisant l'impact des déplacements des véhicules autonomes et l'espace qu'ils occuperaient sur le territoire métropolitain.

2.2.2 MEILLEURES PRATIQUES

Dans ses fondements, le concept de *MaaS* n'entretient pas de lien direct avec l'utilisation des véhicules autonomes. Toutefois, comme divers auteurs en font mention [16, 28, 29], le développement rapide des technologies associées aux véhicules autonomes pourrait bouleverser les comportements reliés à la mobilité urbaine. En supposant qu'une majorité de véhicules autonomes serait déployée dans un système de services sur demande, une diminution significative du nombre de véhicules en circulation sur les routes pourrait se faire ressentir. La mise en place d'un système de mobilité sur demande efficace et conviviale pourrait rapidement contribuer à une diminution de plus de 60 % du nombre de véhicules en circulation sur les routes selon les résultats d'une étude finlandaise qui avait pour but de faire une revue de 31 études scientifiques distinctes traitant du concept de *MaaS* [9]. En plus d'alléger la circulation routière et de diminuer la pression effectuée sur les infrastructures, la mise en place d'un système de mobilité sur demande permettrait de réduire considérablement le temps requis aux déplacements de tous les usagers du système de transport routier. On estime même que l'adoption d'un système de mobilité sur demande pourrait devenir plus économique que la possession d'un véhicule privé. Selon le rapport de planification urbaine de la Ville de Vancouver [4], métropole qui mise sur l'intermodalité des transports urbains depuis déjà plusieurs années, des économies de l'ordre d'environ 2700 \$ par année pourraient être effectuées pour chacune des personnes qui décideraient de prioriser l'utilisation du *MaaS* à l'utilisation d'une voiture privée.

Plusieurs éléments sont à considérer lors de la mise en place d'un projet de mobilité sur demande, particulièrement l'interface, les inclusions et la façon dont les éléments seront présentés sur le support numérique. Une étude réalisée à l'Université polytechnique de Hong Kong en Chine [30] s'est attardée aux éléments et aux fonctionnalités qui devraient être inclus dans les applications mobiles utilisées pour les demandes de services *MaaS*. C'est en définissant une approche progressive d'inclusion des différentes fonctionnalités que l'étude a pu relever les éléments qui rendent l'application la plus performante possible.

Pour obtenir un produit optimal d'offre de *MaaS*, l'étude suggère d'intégrer les fonctionnalités suivantes par ordre de priorité : 1- planification de déplacements hors ligne; 2- réservation de déplacement bimodal ou plurimodal; 3- planification de déplacements en temps réel; 4- réservation tarifaire intégrée; et 5- réservation multisegment. L'étude suggère également de conserver une architecture numérique ouverte afin de pouvoir modifier et améliorer facilement le système au fur et à mesure que celui-ci prendra de l'ampleur et gagnera en popularité. L'ensemble de ces inclusions devraient donc mener l'offre de services vers une intégration opérationnelle des différents éléments techniques du système ainsi qu'à une utilisation pratique de la plateforme intégrée. La figure 6 fait état de cette approche progressive d'inclusion pour un système *MaaS* fonctionnel sans ajout d'opérateurs de mobilité ni voitures autonomes. L'ajout de voitures autonomes dans cette offre de services viendrait inévitablement faire augmenter les possibilités de réservations, mais ne devrait pas influencer la disposition du modèle conceptuel d'inclusion proposé par l'étude.

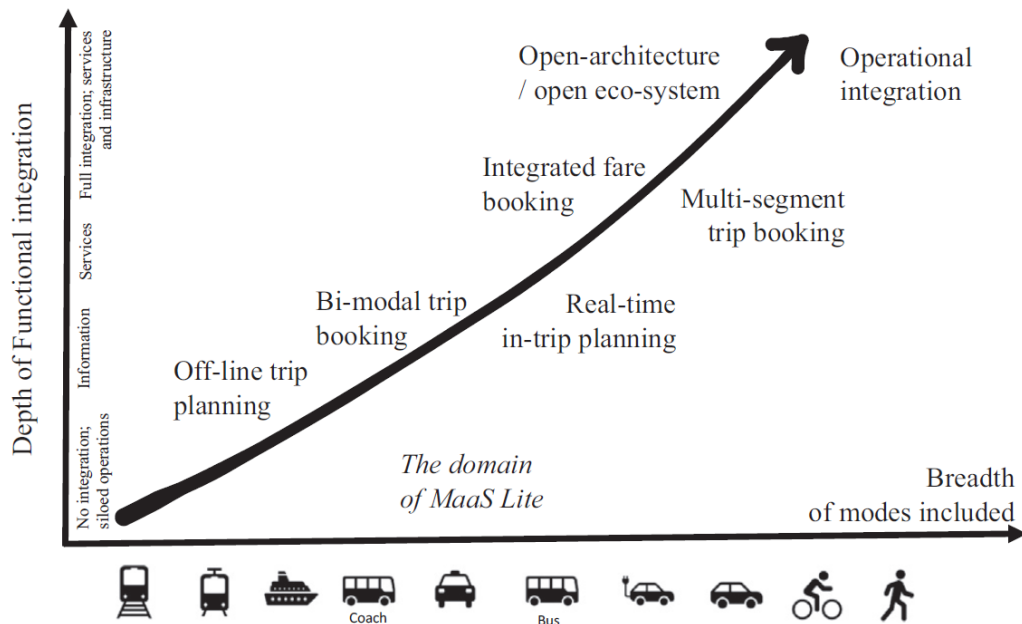


Figure 6 : Courbe de fonctionnalité et de maturité d'une plateforme numérique MaaS [30]

La transmission de l'information en temps réel est, par ailleurs, un élément très pertinent dans le déploiement d'un service *MaaS*, incluant les voitures autonomes. Selon les expérimentations effectuées, les usagers qui auraient l'habitude de se référer à l'information en temps réel auraient des niveaux de satisfaction plus élevés quant à l'utilisation des services [31]. Ceux-ci pourraient, en moyenne, économiser 2 minutes de temps d'attente par rapport aux non-utilisateurs de l'information en temps réel et auraient des niveaux d'anxiété et de frustration nettement inférieurs pendant l'attente du transport. Cette stratégie pourrait alors s'avérer franchement significative pour l'adoption d'un nouveau mode de transport en mobilité urbaine. De plus, ces mêmes expérimentations estiment que le fait d'offrir la possibilité aux usagers d'effectuer des demandes de déplacement à l'avance pourrait faciliter le couplage logistique de l'information et par le fait même, augmenter les performances du système.

Concrètement, l'application mobile mettant en œuvre une offre de MaaS de la Ville de Montréal devrait être en mesure de faire converger les différents modes de transport pris en charge par l'offre de services afin de proposer aux usagers toutes les options possibles pour effectuer leurs déplacements. L'interface de l'application pourrait ressembler à l'esquisse présentée à la figure 7, nonobstant quelques variations esthétiques et préférences graphiques. La figure illustre le fait que l'application devrait être en mesure d'effectuer le calcul des itinéraires, unimodaux et intermodaux, offerts par les différents moyens de transport pris en charge par le système *MaaS*. Pour ce faire, l'application pourrait localiser automatiquement l'emplacement de l'utilisateur à partir du système de positionnement géographique se trouvant dans l'appareil utilisé [28]. Par la suite, l'utilisateur aurait à transmettre la destination voulue au système numérique en y entrant les informations nécessaires à la reconnaissance du lieu (nom, adresse, point d'intérêt, etc.). L'utilisateur pourrait alors recevoir en temps réel toutes les possibilités offertes ainsi que le coût total associé à chacune des propositions. Finalement, l'utilisateur pourrait sélectionner l'option qui lui semblerait la plus avantageuse et procéder au paiement numérique unique, qui inclurait toutes les étapes de son déplacement. Il recevrait donc, en version numérique, un laissez-passer (*Smartcard*, code-barre, code QR, numéro de validation, identifiant, etc.) valide pour chacun des modes de transport nécessaires au parcours anticipé.

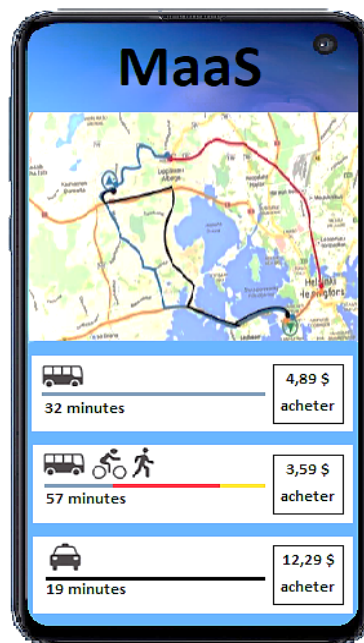


Figure 7 : Exemple d'interface pour une application mobile MaaS

Puisque l'infrastructure du système *MaaS* nécessiterait l'utilisation d'un certain nombre de technologies numériques et que la mise en place du système physique nécessiterait la contribution de divers secteurs complémentaires, l'écosystème devrait inévitablement s'appuyer sur l'interaction de différents groupes d'acteurs [32]. Ainsi, pour que l'offre de services soit complète et fonctionnelle, le modèle commercial devrait prévoir la participation des exploitants du transport public, des exploitants de mobilité partagée,

des autorités de transport régionales, des compagnies de transport privé, des constructeurs automobiles ou d'appareils de mobilité, des facilitateurs de transactions numériques, des compagnies d'assurances, des fournisseurs d'infrastructures et des organisations de recherche. Voilà pourquoi il importe de donner la priorité à différents tests-pilotes basés sur des partenariats bien calibrés et des politiques convenablement réfléchies et soutenues. Puis, de mettre l'accent sur la collecte, le suivi et l'évaluation des données récoltées à chacun des essais [25].

À titre indicatif, plusieurs municipalités ont déjà initié des projets *MaaS* (ou à caractère *MaaS*) en incluant la participation de divers acteurs, provenant à la fois du domaine public et du domaine privé. Le tableau 2 formule une synthèse de 8 différents projets qui sont actuellement en fonction à l'international. En plus de fournir un bref descriptif de la visée de chacun des projets, le tableau retrace les différents fournisseurs de ces mêmes projets, les lieux sur lesquelles ils sont déployés et les types de mobilité qu'ils supportent et desservent. Nous croyons pertinent de présenter des informations de certains de ces projets afin de pousser la réflexion au-delà du cadre théorique de recherche et saisir l'ampleur de la vision pratique actuelle du *MaaS* en milieu urbain.

Tableau 2 : Synthèse de projets MaaS actuellement en fonction [33]

Projet	Descriptif	Fournisseurs	Lieu/Portée	Types de mobilité
Whim app	Avec leur abonnement à l'application, les utilisateurs du service <i>Whim</i> ont accès à une variété d'options de transport : taxis, voitures de location, transports publics et vélos. L'application intelligente détecte les régularités de déplacements effectués par l'utilisateur et arrive à synchroniser à leur calendrier les nouvelles suggestions de déplacements.	MaaS Global	Helsinki, Finlande	Micromobilité Urbaine Périurbaine
UbiGo	Ce service de mobilité, entièrement intégré en une application mobile, combine les transports en commun, l'autopartage, les services de location de voitures, les services de taxi et un système de partage de vélos. Le tout offert en un service 24/7 avec un système de bonus pour les choix de déplacements durables et une seule facturation.	Le parc scientifique Lindholmen avec des partenaires gouvernementaux, universitaires et privés / cofondé par Vinnova	200 utilisateurs de la Ville de Göteborg, Suède	Micromobilité Urbaine Périurbaine Longue distance
Qixxit	Avec plus de 21 fournisseurs de services, l'application <i>Qixxit</i> planifie les itinéraires en fonction des besoins des utilisateurs. Elle propose l'autopartage, le covoiturage et les options de partage de vélos; identifie les liaisons ferroviaires idéales; et affiche toutes les possibilités de voyage pour que les utilisateurs puissent comparer et choisir l'option idéale.	Plusieurs fournisseurs dirigés par Deutsche Bahn	Allemagne	Micromobilité Urbaine Périurbaine Longue distance

Projet	Descriptif	Fournisseurs	Lieu/Portée	Types de mobilité
Moovel	Service qui permet aux utilisateurs de rechercher, réserver et payer leurs trajets multimodaux avec une seule application.	Dainler, Car2go, Mytaxi, Deutsche Bahn	Principalement en Allemagne, mais également testé en Finlande et aux États-Unis	Micromobilité Urbaine
Beeline	Les utilisateurs peuvent suivre les déplacements et réserver leur place dans des autobus desservis par des opérateurs privés. Les utilisateurs sont également encouragés à suggérer de nouveaux itinéraires aux autobus privés puisque ceux-ci sont activés par les demandes provenant de la communauté.	Organisations gouvernementales, autorités de transport en partenariat avec les opérateurs de transport, le milieu universitaire et le secteur privé	Singapour	Urbaine Périurbaine Longue distance
SMILE app	L'application <i>SMILE</i> permet d'offrir un large éventail d'options de transports avec l'accessibilité des fonctions suivantes : informations, réservation, paiement, utilisation et facturation. L'Interface standardisée permet à tous les partenaires de mobilité de faire une connexion technique au système afin de rendre toutes leurs données accessibles à la communauté d'utilisateurs.	Le projet <i>SMILE</i> a été initié par Wiener Stadtwerke en coopération avec la Wiener Linien (transporteur public de Vienne), les chemins de fer fédéraux autrichiens ainsi que les fournisseurs de services d'autopartage privé, de taxis et de partage de vélos	1000 conducteurs participants dans la Ville de Vienne, Autriche	Micromobilité Urbaine Périurbaine Longue distance
Bridj	<i>Bridj</i> est un service de navettes à la demande accessible par le biais d'une application mobile. Il permet aux passagers d'effectuer des déplacements entre leur domicile et leur travail pendant les heures de service. Le système fait l'utilisation d'une flotte flexible de véhicules afin d'optimiser la prise en charge et le dépôt des utilisateurs. Les services de <i>Bridj</i> sont estimés de 40 % à 60 % plus efficaces que les services de transports collectifs traditionnels.	Bridj inc.	États-Unis : Boston, Kansas City et Washington D.C.	Urbaine Périurbaine
Communauto /Bixi	Au Québec, certaines autorités municipales de transport ont offert des forfaits de services de mobilité incluant le transport collectif, l'autopartage et le partage de vélos <i>Bixi</i> . Les utilisateurs peuvent donc économiser sur les prix de transport en faisant l'utilisation de ces trois modes de transport.	Communauto, <i>Bixi</i> , Société de Transport de Montréal, Ville de Montréal	Montréal, Canada	Micromobilité Urbaine Périurbaine Longue distance

2.2.3 RISQUES

Selon les statistiques de la Ville de Montréal [34], on dénombre actuellement plus de 4500 permis de taxis et près de 9000 conducteurs de taxi (excluant les conducteurs *Uber*). Pour l'instant, cette flotte de taxis arrive à desservir les clients sur le territoire métropolitain, et ce, en fonction de la demande actuelle en service d'accompagnement sur demande. Un scénario de *MaaS* impliquant les voitures autonomes ne viserait en aucun cas la domination de l'industrie du taxi. Toutefois, il se peut que certains des acteurs de cette industrie le perçoivent ainsi. Un système de *MaaS* voudrait plutôt développer un écosystème de mobilité attrayant et facile d'utilisation qui permettrait d'augmenter le nombre d'utilisateurs de services de mobilité sur demande. Ainsi, plus l'offre de services serait efficace et facile d'utilisation, plus le nombre d'utilisateurs voulant délaissier l'utilisation de leur voiture personnelle serait grand. Voilà pourquoi il importe d'offrir un service de qualité dans le but de maximiser son utilisation. De fait, si 1 personne, 1000 personnes ou 100 000 personnes décidaient de délaissier l'utilisation de leur voiture au profit du système *MaaS* mis en place, la flotte de voitures autonomes devrait inévitablement s'ajuster en conséquence. Advenant le cas d'un engouement rapide, l'industrie du taxi n'arriverait pas à gérer la demande grandissante. Un système intermodal complémentaire serait donc essentiel au maintien et au bon fonctionnement de cette nouvelle mobilité. Nous suggérons donc qu'au départ, le projet de *MaaS* puisse prévoir un nombre minimal de voitures autonomes qui permettrait la mise en place de l'offre de services autonome sur demande et par la suite, augmenter le nombre de véhicules autonomes au fur et à mesure que le service gagnerait en popularité.

Comme souligné dans le 3^e rapport du projet d'étude, les personnes les plus susceptibles d'augmenter leurs déplacements avec l'arrivée de services offerts par les véhicules autonomes seraient les jeunes et les aînés [35]. Pourtant, nous le savons, les aînés ne sont pas ceux pour qui l'utilisation des technologies numériques et mobiles est la plus intuitive et intégrée. Or, plusieurs d'entre eux pourraient percevoir cet aspect comme un frein à l'utilisation des services *MaaS*. Le défi serait donc d'arriver à limiter la réticence des personnes plus âgées en offrant un service simple, délivré par une application mobile efficace et une interface pratique. L'application devrait être conviviale et facile d'utilisation. De façon concrète, une à deux minutes devraient suffire à effectuer la demande de services et sélectionner le choix optimal, sans quoi les utilisateurs potentiels risquent de délaissier le service [36].

Un autre des risques possibles lors de la mise en place d'un service de mobilité sur demande de type *MaaS* serait de ne pas arriver à suffire à la demande. En devenant victime de la popularité croissante d'utilisation de la plateforme, l'offre de service pourrait avoir peine à desservir convenablement l'ensemble des utilisateurs. Puisque l'offre se veut de favoriser l'intermodalité des différents modes de transport, les usagers s'attendraient à recevoir plusieurs options de déplacement, et ce, pour chacune des requêtes de service [9]. Ainsi, si par manque de capacité, les options de déplacement par voitures autonomes et vélos publics, par exemple, n'étaient presque jamais offertes et qu'inversement, c'étaient toujours les options de transports publics qui seraient proposées, les usagers risqueraient de se désintéresser à l'offre de services. Il deviendrait donc primordial de prévoir les capacités adéquates pour chacun des modes de transport pris en charge afin d'assurer une offre adaptée à la demande.

Finalement, un des plus grands risques associés au développement d'une plateforme de mobilité *MaaS* serait de ne pas avoir suffisamment de demandes pour que la viabilité du projet soit effective. Cette

possibilité serait essentiellement due à un attachement des usagers du réseau routier à l'utilisation de la voiture privée. Advenant le cas où l'utilisation des voitures autonomes électriques en mode privé serait valorisée et que les bénéfices offerts par ce type d'utilisation pourraient compenser la surcharge du réseau routier et les frais exubérants de l'utilisation unitaire, il se pourrait qu'une majorité d'usagers veuille prioriser cette option [37]. Dans ce cas, l'offre de services *MaaS* peinerait à subsister par faute d'utilisation, tout comme les modes de transport public et actif perdraient des adeptes [38].

2.2.4 ENJEUX ACTUELS

Les possibilités d'implantation de services *MaaS* sur un territoire spécifique dépendent de plusieurs facteurs régionaux qui sont notamment influencés par les caractéristiques socioéconomiques, sociodémographiques, mais également les éléments de la géographie urbaine, des infrastructures de transport et des habitudes de déplacement. Ainsi plusieurs éléments sont à considérer dans le développement et la mise en place d'un système *MaaS*. De ces éléments, l'hétérogénéité de la population, les revenus moyens par habitant, l'environnement réglementaire municipal, la maturité des systèmes de transport en commun, l'étendue géographique et les caractéristiques reliées à la mobilité alternative pourraient être perçus comme des facteurs essentiels à l'élaboration de bonnes réflexions relatives au déploiement du système *MaaS* [25].

Le développement d'une plateforme de services de type *MaaS* sur le territoire de la Ville de Montréal ou de la région métropolitaine de la Montréal entraînerait inévitablement des changements dans les habitudes de mobilité des citoyens. Selon la littérature [9, 39], la mise en place d'un tel système devrait provoquer une hausse considérable de l'utilisation des services de transport en commun. Dans le cas où l'utilisation du système *MaaS* serait prônée par un bon nombre de citoyens montréalais, la demande serait largement augmentée. N'étant plus enclins à circuler à bord de véhicules privés, les usagers du service miseraient principalement sur les transports publics pour effectuer leurs déplacements de longues distances. Cela nécessiterait donc un ajustement de l'offre de services des transports publics afin d'en garantir la disponibilité et l'efficacité.

La création d'une offre de services *MaaS* aurait également un impact sur l'utilisation des transports actifs dans la région métropolitaine [9, 39]. Puisque les usagers seraient appelés à utiliser les transports en commun pour leurs déplacements de longues distances, ils devraient inévitablement se trouver un moyen pour franchir les premiers et derniers kilomètres qui les sépareraient de leur point de départ et de leur destination. Plusieurs d'entre eux y verraient l'occasion d'utiliser la marche, le vélo ou certains autres modes de transport actif afin de parcourir ces courtes distances. D'autres, moins enclins et/ou disposés à vouloir se déplacer en effectuant un effort physique ou encore avides de nouvelles technologies, verraient plutôt l'occasion de se tourner vers l'utilisation des véhicules autonomes pour franchir ces premiers et derniers kilomètres [16]. De plus, certains usagers potentiels pourraient se tourner vers l'utilisation des véhicules autonomes si leurs lieux d'origine ou de destination sont mal desservis par le transport collectif.

Des travaux effectués à l'Université de Sydney en Australie [40] ont étudié les différents modes de transport en fonction de leur efficacité spatiale et leur efficacité temporelle. La figure 8 illustre le modèle établi par l'étude. Sur le graphique, l'axe horizontal représente l'efficacité temporelle dans les déplacements urbains et l'axe vertical représente l'efficacité spatiale en termes d'occupation de l'espace. On remarque que dans

un système de mobilité urbaine, l'utilisation des modes de transport privé sont ceux qui performant le moins, tant au niveau de l'efficacité temporelle que spatiale. Principalement en raison des problématiques de congestion, du faible taux d'occupation et des problématiques de stationnement, les utilisations en mode privé se retrouvent toutes dans la partie inférieure gauche du graphique. À l'inverse, les modes de transport public se trouvent dans la partie supérieure droite en raison de leur efficacité temporelle et spatiale reliée aux déplacements. Les modes de transport actif, pour leur part, ont une très bonne efficacité spatiale, mais une moins bonne efficacité temporelle. Finalement, les modes de transport partagés, notamment ceux desservis par les voitures autonomes, ont une excellente efficacité temporelle, mais une moins bonne efficacité spatiale.

À la lumière de ces informations, on considère que la mise en place d'un système de transport urbain qui pourrait limiter l'utilisation des modes de transport privé serait bénéfique pour la mobilité globale d'une ville comme Montréal. Il serait ainsi souhaitable que les différentes options de mobilité offertes par le système de MaaS se situent exclusivement dans les trois zones les plus efficaces du graphique et que la zone la moins efficace soit tranquillement exclue du système de transport métropolitain.

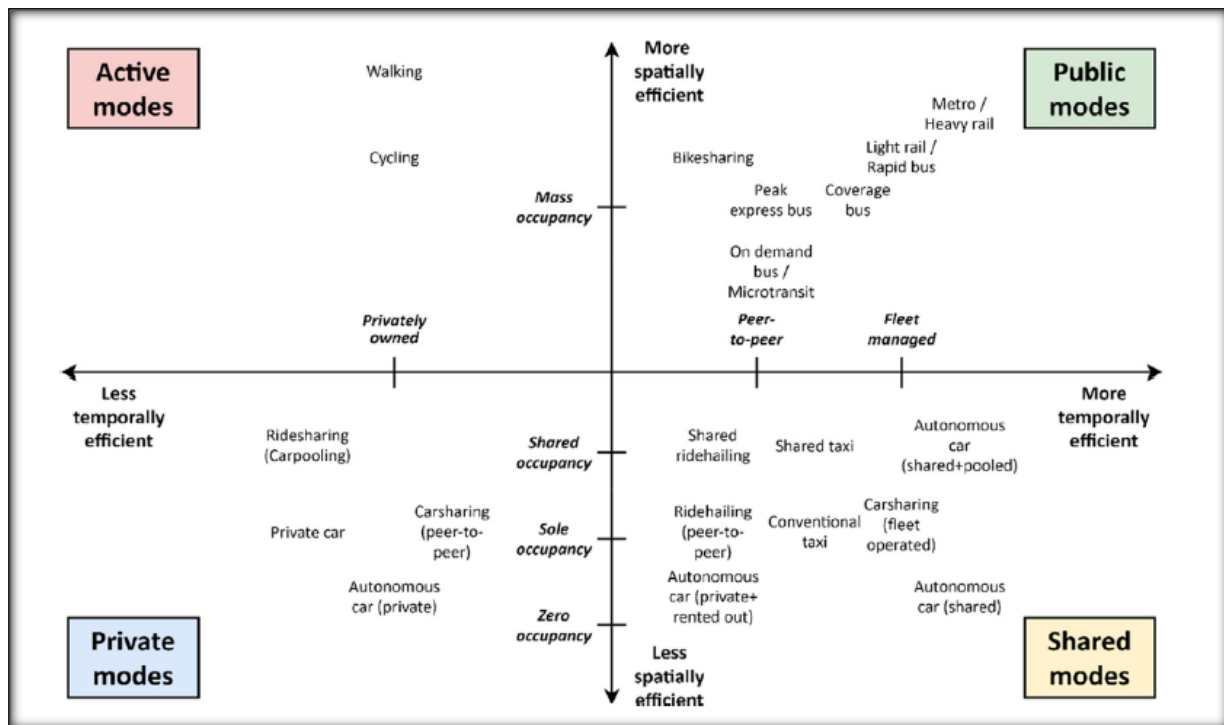


Figure 8 : Modèle d'efficacité spatiale et temporelle des différents modes de transport [40]

La mise en place d'un système de services de mobilité de type *MaaS* pourrait contribuer également à l'amélioration des options de mobilité des touristes en zone urbaine. C'est en reconnaissant les besoins spécifiques des voyageurs, en orientant leurs choix vers des options plus économiques que celles actuellement offertes et en faisant de chacun de leurs déplacements une expérience intermodale unique que les services *MaaS* pourraient leur profiter [9]. Cela pourrait même offrir une forme de mobilité plus

flexible pour les touristes, ce qui contribuerait à promouvoir l'image de la Ville de Montréal, notamment à l'égard de l'accompagnement fait pour faciliter le séjour des visiteurs.

Finalement, différents joueurs provenant de l'industrie privée souhaiteraient certainement s'impliquer dans le déploiement d'un projet *MaaS* sur le territoire de la Ville de Montréal. Cette tendance est déjà bien présente dans la mise en place de projets de mobilité sur demande, incluant les voitures autonomes [28]. On estime que d'ici 2030, les profits générés par l'implantation de systèmes *MaaS* dans les grandes régions urbaines du monde pourront s'élever à environ 250 milliards de dollars US. À titre indicatif, on estime qu'en Allemagne 20 % des transports individuels seront faits via une plateforme *MaaS* d'ici 2027 et que près de 50 % de l'ensemble de ces déplacements seront faits via une plateforme *MaaS* d'ici 2040 [41]. De fait, des agences ou compagnies spécialisées dans le développement de plateformes mobiles, de services de transport, de technologies automatisées, de cartographie du territoire, de service à la clientèle, etc. pourraient tenir un rôle important dans la création d'un projet *MaaS*. Pour leur part, les instances publiques et gouvernementales seraient plutôt à la recherche des avantages découlant d'une congestion réduite, d'une meilleure utilisation des transports publics, d'une meilleure qualité de l'air, d'une empreinte urbaine réduite pour les espaces de stationnement, etc. En somme, ce qui importe, c'est de réussir à faire travailler tous les acteurs conjointement afin d'orienter une finalité réaliste et profitable à tous [33].

2.2.5 CONCLUSION

Afin de mettre sur pied un système de mobilité *MaaS* qui inclurait l'utilisation des voitures autonomes électriques, la création d'un écosystème de mobilité intégré avec les inclusions suggérées par la courbe de fonctionnalité numérique serait indispensable. L'offre de mobilité devrait être convenablement réfléchie de façon à desservir les nombreux déplacements urbains. Elle devrait aussi arriver à créer une identité citoyenne à l'égard de l'intégration des différents modes de transports sur le territoire métropolitain. Pour ce faire, le système devrait prôner une utilisation simple et efficace qui saurait satisfaire les demandes d'une clientèle variée, incluant la clientèle âgée. On pourrait donc assister à l'émergence d'un nouveau système de mobilité qui miserait sur l'utilisation des modes de transport plus durables et plus économiques.

Certains risques seraient tout de même associés à la mise en place d'une telle offre de services. Tout d'abord, certains acteurs pourraient penser que le déploiement d'un système intermodal de mobilité, incluant les voitures autonomes, pourrait être une façon de concurrencer les services de taxis métropolitains. Aussi, le fait de procéder à l'offre de services par l'entremise d'une plateforme numérique risquerait de rendre l'utilisation des services plus complexe pour certaines personnes, notamment les personnes plus âgées. Finalement, certains risques seraient associés à l'offre des modes de transport et à la demande des usagers. Est-ce que ceux-ci se trouveraient en nombre suffisant pour assurer la viabilité du système de *MaaS*?

Finalement, le développement du scénario *MaaS* pourrait avoir un impact sur la valorisation et l'utilisation des transports publics et actifs. Cela pourrait également optimiser l'efficacité spatiale et temporelle des déplacements effectués sur le territoire de la Ville de Montréal. Cet avantage serait bénéfique pour les citoyens du centre urbain, mais également pour les touristes qui seraient de passage dans la municipalité. Une fois bien installé, le système *MaaS* pourrait même contribuer à promouvoir l'image de Montréal sur la scène internationale.

3. RECOMMANDATIONS

3.1 AMÉNAGEMENT DES INFRASTRUCTURES URBAINES

Cette section s'attardera principalement aux notions de conception et de mise en place de nouvelles formes d'infrastructures urbaines, de même qu'à la modification des infrastructures urbaines déjà existantes. L'arrivée des voitures autonomes électriques sur le réseau des transports routiers devrait provoquer des changements importants dans le paysage urbain de la Ville de Montréal ou de la région métropolitaine de Montréal [11]. Voilà pourquoi nous considérons important d'émettre certaines recommandations visant à éclairer le processus décisionnel relatif au paysage urbain de la métropole et de ses périphéries. En termes de recommandations, cette section abordera les concepts d'espaces urbains, de stations de recharge et de politiques municipales, également applicables à la région métropolitaine.

3.1.1 ESPACES URBAINS

En raison de multiples facteurs relatifs à l'utilisation des voitures autonomes, tels que la conduite connectée, la conduite coordonnée, la conduite en continu, le transport partagé et la circulation à vide, l'espace urbain devrait subir des changements radicaux d'ici les prochaines années [11]. Les études prévoient que lorsque les véhicules autonomes formeraient la majorité de la flotte automobile, un gain d'espace allant de 15 % jusqu'à près de 60 % pourrait être fait dans les milieux urbains [11, 42]. Cette libération d'espace serait principalement attribuable à la suppression des parcs de stationnement de longues durées. De plus, la configuration simplifiée du réseau routier, notamment par la réduction du nombre de voies routières, permettrait la libération de l'espace additionnel. La figure 9 illustre ce à quoi pourrait ressembler la configuration d'une artère urbaine suite à la période de transition à travers laquelle les voitures autonomes et les voitures conventionnelles devraient cohabiter. On remarque qu'au terme de cette transition, aucun espace de stationnement en bordure de la rue ne serait nécessaire. On remarque également une réduction considérable du nombre de voies de circulation routière, passant de six à deux. Finalement, l'ajout d'espaces verts, de chacun des côtés de la rue, serait aussi attribuable à l'utilisation de la technologie de conduite autonome. En somme, le scénario de réaménagement proposé par la figure 9 estime une réappropriation de près de 60 % du territoire urbain, initialement réservé à la circulation ou au stationnement des voitures. Dans le cas échéant, la réappropriation serait effectuée au profit de l'installation de voies de circulation pour le transport actif et d'espaces verts. En revanche, de multiples autres options auraient pu être envisagées par le développement de ce nouvel espace urbain : voies de circulation pour transport public, terrasses, kiosques, zones de débarquement, nouvelles constructions, etc.



Figure 9 : Reconfiguration de la rue avant et après le déploiement des véhicules autonomes [11]

Nos recommandations à l'égard du réaménagement des voies libérées seraient incontestablement reliées à l'aménagement de voies de circulation pour les différentes formes de transports publics et actifs. Comme mentionné dans la troisième phase du projet de recherche, deux scénarios extrêmes risquent de faire surface avec l'utilisation des véhicules autonomes. D'une part, si les habitudes et comportements de mobilité ne subissent aucune modification et que les usagers du système routier conservent leur voiture personnelle, cela aurait pour effet d'augmenter drastiquement le volume de circulation, notamment en raison du transport à vide [43]. D'une autre part, si les habitudes de mobilité sont modifiées en raison du délaissement des voitures personnelles, cela risquerait de stimuler l'utilisation du transport public et du transport actif [29]. Or, afin de limiter le volume de circulation et les problèmes reliés à la congestion routière, nous suggérons fortement l'aménagement de voies de circulation et de commodités qui inciteraient les citoyens à opter pour les types de transports alternatifs, incluant les services de voitures autonomes partagées sur demande. De plus, il est démontré que le fait d'offrir un meilleur service par l'entremise d'une meilleure accessibilité, de meilleures infrastructures et d'une meilleure sécurité dans l'offre des transports publics et actifs encouragerait l'utilisation de ces modes de déplacement [44].

Nous suggérons également de profiter de la libération des espaces actuellement réservés aux stationnements municipaux pour favoriser la multiplication des espaces verts dans la métropole. Possiblement, avec la réduction prévue des besoins en stationnements urbains [45], les propriétaires de terrains privés ayant une vocation commerciale reliée au stationnement voudront modifier l'utilisation de ces espaces afin de continuer à bénéficier de revenus ponctuels. Il est à prévoir que plusieurs envisageront la construction de bâtiments commerciaux ou d'habitations locatives dans le but de rentabiliser leurs investissements fonciers [11]. Voilà pourquoi la possible transformation des stationnements en espaces verts relèverait essentiellement des stationnements publics. En termes de réaménagement d'espaces, nous suggérons de considérer l'intégration dans les plans d'urbanisme des stratégies axées sur la conversion des espaces de stationnement privés en valeurs immobilières. Les municipalités concernées pourraient entamer un exercice de planification stratégique afin de réfléchir d'abord à la vision qu'elles veulent donner à leur territoire en lien avec l'arrivée des voitures autonomes. Nous recommandons même de faire la

recension des différents stationnements publics et privés du territoire de la ville afin de pouvoir se pencher rapidement sur les besoins réels d'aménagement des quartiers dans lesquels ils se trouvent : espaces verts, lieux publics, stationnements réaménagés, édifices à bureaux, appartements, complexes hôteliers, industries, commerces, etc. Si cette étape est réalisée en amont des changements technologiques et des changements comportementaux des usagers, cela va faciliter la transition et assurer un développement urbain qui respectera les besoins des quartiers en transformation [11].

Finalement, il serait pertinent que l'ARTM puisse ajouter dans l'un de ses documents de planification une réflexion sur le déploiement des véhicules autonomes et le partage de l'espace urbain.

3.1.2 STATIONS DE RECHARGE

Actuellement, en Amérique du Nord, il existe trois types de recharge électrique que les véhicules hybrides rechargeables ou électriques peuvent utiliser. Le niveau L1 correspond à la borne domestique de 120 volts sur un courant alternatif. Le niveau L2 correspond à une borne intermédiaire d'une tension de plus de 120 volts sur un courant alternatif. Finalement, le niveau L3 correspond à la borne de recharge rapide dont la tension varie entre 200 et 450 volts sur un courant continu [46]. Étant donné que les propriétaires de voitures hybrides rechargeables et électriques se trouvent en faible proportion sur les routes (moins de 1 % du parc automobile au Québec) et que ceux-ci ont très souvent accès à une source de recharge à leur domicile, la majorité des recharges actuelles se fait avec l'utilisation des bornes domestiques [47]. Ainsi, les besoins en termes de stations de recharge publique sont encore limités. C'est principalement lorsque ces voitures parcourent de grandes distances (plus de 300 km) que les bornes à usage public deviennent nécessaires et profitables.

Bien que le nombre de rechargements fait dans les bornes publiques soit en constante croissance, tout comme le nombre de véhicules hybrides rechargeables et électriques sur les routes, celui-ci ne représente qu'une minorité de tous les rechargements effectués à l'échelle de la province [46]. De plus, les stations de recharge publiques actuelles sont des stations qui nécessitent une manutention particulière, spécialement en raison de l'installation du connecteur de recharge dans la prise électrique du véhicule. Elles ne prennent donc pas en compte l'arrivée des véhicules électriques et autonomes sur le réseau routier. Des études prévoient que l'arrivée des véhicules autonomes modifiera les procédés de recharge [15, 48]. Puisque les voitures auraient la possibilité de se rendre au lieu de stationnement ou de rechargement de façon autonome (à vide), il faudrait que les procédés de recharge soient eux aussi automatisés. Dès lors, l'ensemble des bornes préalablement installées sur le territoire de la Ville de Montréal ou dans d'autres zones de la région métropolitaine, et nécessitant un procédé de manutention spécifique, seraient inefficaces et devraient être remplacées. Voilà pourquoi il serait pertinent de s'attarder à la problématique le plus rapidement possible. Il serait même réaliste de prévoir une transition qui impliquerait l'ajout de systèmes de recharge à la fois fonctionnels pour tous les types de véhicules électriques, autonomes ou non, et économiquement viables sur le long terme pour la métropole.

À travers nos recherches, nous avons pu relever trois différentes façons de procéder au rechargement des véhicules électriques sans intervention humaine [15, 48]. Tout d'abord, il y a les stations de recharge robotisées avec système d'arrimage automatique. Ces stations utilisent le même fonctionnement que les bornes actuellement déployées à l'exception que l'action de connexion est effectuée par un bras articulé

et robotisé. Il y a les systèmes de recharge par induction statique. Ces systèmes utilisent un bouclier statique placé au sol pour effectuer le rechargement des voitures. Aucun contact entre le bouclier et la voiture n'est requis. Puis, il y a les systèmes de recharge par induction dynamique. Ces systèmes utilisent un réseau filaire enfoui sous la surface de la chaussée pour recharger les véhicules. Aucun contact entre la surface du sol et la voiture n'est requis. De plus, ce système permet la recharge de plusieurs véhicules en simultané, ce qui n'est pas le cas avec les autres types de recharge sans intervention. Plusieurs manufacturiers automobiles tels que Tesla, BMW, Nissan et Chevrolet ont déjà des modèles de véhicules électriques ou hybrides destinés au grand public qui permettent une recharge par induction.

Compte tenu des spécificités techniques d'implantation, nous recommandons à la Ville de Montréal et à l'ARTM de commencer à développer des stations de recharge par induction qui pourraient servir au rechargement des véhicules électriques et hybrides rechargeables, qu'ils soient autonomes ou non. Il serait, par exemple, pertinent de tout d'abord installer des boucliers à induction statique dans différents emplacements stratégiques de stationnement. Les figures 10 (a et b) illustrent des exemples d'emplacement et de disposition de ce type de système de recharge. Dans le cas de la figure 10 (a), un déneigement constant serait à prévoir en période hivernale afin de conserver une chaussée dégagée pour favoriser la recharge. Sinon, une surface chauffée pourrait également assurer la suppression de la neige. La figure 10 (b) mise plutôt sur l'installation du système dans un lieu couvert pour ainsi faciliter le processus de nettoyage et le dégagement de la surface. Ce genre d'installation pourrait être vraiment profitable compte tenu des chutes abondantes de neige sur la région de Montréal. C'est donc principalement ce deuxième type d'installation que nous recommandons. Par ailleurs, en l'absence d'un standard unique de recharge par induction, et comme plusieurs acteurs développent des technologies concurrentes, il conviendrait d'étudier quels systèmes seraient plus à même d'être compatibles avec le plus de véhicules électriques en circulation avant de procéder à un choix d'installation. Des études se sont penchées sur le marché de recharge par induction et ses acteurs.¹

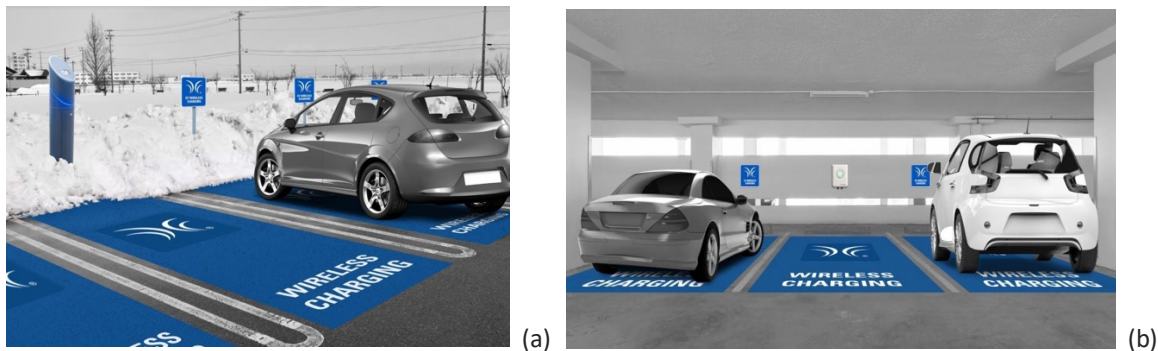


Figure 10 : (a et b) Recharges par induction statique [49]

Par la suite, en fonction de la vitesse de pénétration des véhicules électriques et autonomes sur le territoire métropolitain, nous suggérons d'établir une stratégie géographique de déploiement et d'installation de

¹ <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-wireless-charging-market-industry>

voies de recharge par induction dynamique. Pour ce faire, des endroits stratégiques devraient être sélectionnés afin d'accueillir un maximum d'utilisateurs de la route sans pour autant alourdir la circulation routière. Comme ces voies de recharge seraient exclusivement réservées aux véhicules électriques munis de capteurs réceptifs, il faudrait s'assurer que les autres voies de l'artère de circulation puissent assurer une fluidité dans les déplacements des autres types de véhicules. La figure 11 démontre ce à quoi pourrait ressembler l'ajout de voies de recharge par induction dynamique en territoire urbain. La recharge des voies de circulation pourrait s'effectuer par captation solaire à l'aide des panneaux placés de part et d'autre de la chaussée [50]. Cette pratique n'est pas essentielle au fonctionnement du système de recharge, mais peut s'avérer une option intéressante. Finalement, tout comme avec l'utilisation des recharges par induction statique, un système de dégagement de la chaussée serait à prévoir afin de pouvoir conserver la surface dégagée en tout temps. Encore une fois, les options de chaussées chauffées ou couvertes (ex. : tunnels) peuvent être les plus réalistes pour le contexte saisonnier de la région métropolitaine de Montréal.



Figure 11 : Recharge par induction dynamique [50]

3.1.3 POLITIQUES MUNICIPALES ET MÉTROPOLITAINES

La plupart des municipalités estiment à plus de 40 % l'espace qui est actuellement réservé aux routes et aux infrastructures routières [5]. Puisque les véhicules autonomes auraient le potentiel de réduire considérablement l'étendue de ces surfaces, cela pourrait offrir l'occasion de transformer et de revitaliser divers secteurs citadins et donner de nouvelles vocations à certains emplacements. Cette possible transformation devrait être considérée comme une opportunité afin de réaménager une partie du territoire des municipalités et par le fait même, modeler une transformation dans les comportements de mobilité des citoyens [51]. À cet égard, les stratégies de gestion et les politiques de revitalisation déployées par les municipalités devraient tenir une place d'importance dans la transformation et l'aménagement de ces

nouveaux lieux [52]. Les décisions prises pourraient modeler les paysages urbains pour les nombreuses années à venir [36].

L'aménagement des infrastructures urbaines devrait désormais tenir compte des changements susceptibles de se produire avec l'utilisation des véhicules autonomes. Ainsi, il est fortement recommandé que les nouveaux projets d'infrastructure de transports fassent état d'une évaluation approfondie reliée aux diverses répercussions des véhicules autonomes sur le territoire, puisque ces derniers devraient pénétrer le marché automobile pendant la durée de vie des infrastructures qui sont actuellement à l'étape de conception ou de construction [53]. Nous suggérons qu'à partir de maintenant, tous les projets de rectification ou de développement du système de transport de la Ville de Montréal et des autres municipalités de la région métropolitaine puissent demeurer évolutifs et s'inscrire dans la vision d'intégration des véhicules autonomes électriques sur le territoire, sans quoi les projets pourraient rapidement devenir désuets.

Étant donné que les véhicules autonomes sont susceptibles d'optimiser l'utilisation du réseau routier, la capacité des routes existantes devrait être augmentée. De fait, l'élargissement des routes ou la construction de nouvelles voies ne devrait pas être nécessaire, spécialement si l'accent est placé en fonction d'un scénario *MaaS*. Une rectification de l'utilisation des voies actuelles devrait suffire à l'implantation des nouvelles infrastructures conçues pour l'utilisation des véhicules autonomes [53]. Voilà un élément clé qui devrait s'imbriquer dans chacune des réflexions à l'égard du développement du réseau routier montréalais.

Sur une plus longue période temporelle, les études prévoient une réduction considérable du nombre de voies de circulation et d'infrastructures de transport [11]. Nous recommandons donc d'inclure cette vision au processus de réflexion des futurs projets de mobilité afin d'assurer un développement réfléchi du système des transports urbains et ainsi faciliter la période de transition à travers laquelle les voitures conventionnelles partageraient la route avec les voitures autonomes. Nous le savons, le principal défi à court terme sera d'orchestrer cette transition de manière que la circulation et la congestion routière urbaine ne soient pas trop affectées [54]. Nous devons donc entamer la transition, sans pénaliser les utilisateurs de voitures conventionnelles.

Fondamentalement, la question demeure à savoir dans quel modèle la Ville de Montréal et la région métropolitaine aspirent-elles à évoluer et d'articuler les changements en fonction de cette vision à long terme. La prise de décisions concernant les politiques à l'échelle municipale et métropolitaine influencera inévitablement le choix et le comportement des usagers. Ainsi, il est primordial d'orienter cette prise de décisions vers la mise en place d'un système de transport efficace qui contribuera au progrès technique, à l'amélioration de la mobilité urbaine et par le fait même, au bien-être des citoyens. Par la suite, les changements de comportements de mobilité entraîneraient, à leur tour, la possible restructuration du paysage urbain. Par exemple, le fait de prioriser un système de services de mobilité contribuerait au délaissement progressif des voitures privées et libérerait de nombreux espaces actuellement réservés aux voies routières, aux stationnements et à certaines infrastructures urbaines [11]. Les décideurs doivent donc être à l'affût des nombreux changements à venir et orienter leurs décisions en fonction de l'efficacité du système et du bien-être collectif, actuel et à long terme.

3.2 TRANSPORT ET MOBILITÉ

Cette deuxième section de recommandations s'attardera principalement aux changements potentiels dans les comportements de mobilité et aux rôles des différents acteurs dans la mise en place d'un nouveau système de mobilité. En termes de recommandations, la section abordera les thèmes de transport en commun, de partenariats et de politiques municipales et métropolitaines.

3.2.1 TRANSPORT EN COMMUN

Les différents travaux consultés lors la réalisation de ce projet de recherche estiment que les services de transports en commun feraient face à de nombreux défis avec l'arrivée des véhicules autonomes sur le territoire. Peu importe le type d'utilisation priorisée (mode privé ou partagé), les impacts des voitures autonomes sur les transports publics seraient non négligeables. Dans le cas d'une utilisation majoritairement privée, on pourrait s'attendre à une diminution considérable de l'utilisation des transports en commun. Subséquemment, avec une régression du nombre d'usagers des transports publics, certaines municipalités auraient à se questionner à l'égard du maintien de l'offre de service. Une trop faible utilisation des transports publics entraînerait une baisse considérable de la rentabilité et donc, un arrêt probable de l'offre de services [52, 55]. Inversement, dans un contexte où la majorité d'usagers prioriserait l'utilisation du transport autonome partagé, cela aurait pour effet de stimuler l'utilisation des transports en commun. Dans une telle situation, les modes traditionnels de transport en commun permettraient d'assurer le déplacement rapide d'un grand nombre de personnes et l'intermodalité des autres modes de transport, notamment les véhicules autonomes électriques, assurerait le déplacement des premiers et derniers kilomètres [4, 5, 6].

Compte tenu de ces scénarios divergents, nous suggérons de mettre en place des pratiques municipales qui permettraient de stimuler l'utilisation des transports en commun. Une clientèle stable ou grandissante, qui prioriserait l'utilisation des transports en commun, assurerait non seulement la survie de l'offre de services, mais le développement et l'actualisation des services. À titre d'exemple, la municipalité pourrait offrir de nouveaux incitatifs financiers pour l'utilisation récurrente des transports en commun [56]. Mais encore, la municipalité pourrait également offrir des incitatifs financiers aux résidents qui décideraient de se départir de leur véhicule personnel. Tandis qu'ils n'occuperaient plus les espaces de stationnement ni les voies de circulation, ne participeraient plus à la dégradation du réseau routier, ne contribueraient plus aux problématiques de congestion ni même aux problématiques de pollution atmosphérique, ils se verraient récompensés de leurs comportements par une légère compensation fiscale. Au lieu de faire payer les utilisateurs des commodités offertes aux automobilistes (utilisateurs-payeurs), une alternative serait de récompenser ceux qui font le choix de se passer de ces commodités. Cette technique pourrait devenir un incitatif important face au changement comportemental dans la mobilité urbaine. À titre indicatif, la Ville de Toronto [14] développe actuellement divers mécanismes de tarification avantageuse afin de rehausser la valeur de l'utilisation des transports en commun au profit de l'utilisation exclusive des véhicules autonomes.

Nous recommandons également de planifier une délocalisation des espaces de stationnement de sorte qu'ils soient relocalisés à l'extérieur du centre de la ville, à l'exception des stationnements pour voitures partagées [57, 58]. L'exemple de la Ville de Pontevedra en Espagne est très éloquent [59]. En proposant des incitatifs à l'utilisation des transports alternatifs et en restreignant l'utilisation des voitures privées, les élus de la ville sont parvenus à réduire la circulation automobile de 90 %, si bien que la ville est maintenant prise en exemple par de multiples autres municipalités à travers le monde. C'est principalement en installant de grands stationnements gratuits à l'extérieur du centre urbain, en limitant le nombre et le temps de stationnement dans le centre urbain et en sanctionnant sévèrement les contrevenants que la ville est parvenue à réduire de 75 % ses émissions de gaz à effets de serre, à enrayer les accidents mortels et à augmenter la vitalité des rues commerçantes. Une stratégie similaire, adaptée à la région métropolitaine de Montréal, pourrait être largement bénéfique pour la mobilité urbaine et les services de transports en commun, spécialement en contexte d'utilisation des véhicules autonomes sur demande.

Dans son plan d'élaboration des stratégies relatives à l'implantation de la mobilité autonome, la Ville de Toronto [14] suggère également de développer une politique municipale qui permettrait de coordonner et de supporter un système de transport qui miserait sur l'offre de services et à travers lequel l'accent serait posé sur l'utilisation des transports publics. En ce sens, la ville estime que si l'accès aux services de transport en commun était facilité, cela rendrait l'option plus attrayante pour les résidents de la ville.

Une autre façon d'encourager l'utilisation des services de transports en commun serait de créer des partenariats et/ou collaborations avec des entreprises privées et des institutions publiques afin de mettre en place un système d'avantages pour employés et/ou étudiants. À titre d'exemple, l'Université de Sherbrooke, Québec, inclut désormais le coût du laissez-passer d'utilisation des transports en commun à toutes les factures d'inscription de ses étudiants [60]. Avec cette mesure, l'Université de Sherbrooke est devenue la première université québécoise à mettre en place un programme de libre accès au transport en commun pour ses étudiantes et étudiants. Mais encore, depuis 2019, cette même université a mis sur pied un programme d'avantages pour les employés qui utilisent le transport en commun. Nous sommes d'avis que l'ARTM, en collaboration avec les sociétés de transport et les municipalités, pourrait établir des programmes similaires afin d'inciter certains groupes de citoyens à faire une utilisation quotidienne des transports en commun. Ce qui, par le fait même, contribuerait à délaissier les voitures privées en zone urbaine.

Finalement, nous recommandons à la Ville de Montréal et à l'ARTM de commencer progressivement à intégrer les technologies d'automatisation dans les modes de transport en commun. Pour faire référence à ce phénomène, la littérature parle de la *Transit Fusion* [61]. Une transition qui miserait sur l'adaptation des véhicules, des infrastructures et des services dans le but d'intégrer les technologies relatives à la conduite automatisée. Cette vision futuriste de mobilité estime que les modes de transport en commun n'échapperaient pas au phénomène d'automatisation. Elle suggère donc de développer des projets de mobilité autonome qui impliqueraient une transformation graduelle des véhicules servant au transport public [62]. De cette façon, l'intérêt porté envers les systèmes de transport en commun autonome pourrait s'apparenter à celui porté envers les voitures autonomes. De fait, les nouveaux services de transport en commun pourraient bénéficier d'une popularité et d'un engouement similaire à celui des voitures autonomes privées, du moins, en ce qui a trait aux avancées techniques et à certains avantages de déplacement.

3.2.2 PARTENARIATS

Comme discuté dans le troisième rapport du projet de recherche, plusieurs partenariats privés se forment dans le but d'unifier leurs domaines de spécialisation et diminuer les coûts associés à la mise en place de projets de mobilité autonome [63]. Actuellement, les investissements en recherche, technologies et essais terrain sont très élevés. Cela incite donc les entreprises à avoir une approche plus coopérative pour arriver à se tailler une place dans le marché émergent. Comme plusieurs de ces compagnies estiment que les véhicules autonomes représentent l'avenir des déplacements individuels et collectifs et qu'ils devraient générer d'énormes revenus à long terme, elles ont à cœur de stimuler le progrès et les avancements du domaine de l'automatisation des véhicules. Voilà pourquoi elles n'hésitent pas à créer des partenariats avec d'autres compagnies privées qui, dans certaines autres situations, auraient plutôt été considérées comme concurrentes. À titre d'exemple, les compagnies *Apple* et *Drive.ai*, *BMW* et *Intel*, *GM* et *Lyft*, *Jaguar* et *Waymo*, etc. se sont créés des alliances corporatives pour concurrencer la compétition et offrir de produits et services qui se démarquent. Certaines de ses alliances ont désormais des évaluations financières très élevées, ce qui permet de leur garantir une place dans l'acquisition des parts dans le marché relié à la mobilité autonome [28].

De plus en plus de partenariats public-privé (PPP) voient aussi le jour afin de faciliter la transition vers la nouvelle mobilité autonome. Comme plusieurs organisations publiques ne possèdent pas suffisamment de moyens financiers pour assurer le déploiement complet d'un projet de mobilité autonome, elles unissent leur savoir-faire et leur pouvoir financier avec celui de compagnies privées. Les partenariats public-privé offrent donc la possibilité à différents acteurs de travailler conjointement et de collaborer sur des initiatives qui, autrement, auraient été perçues comme concurrentielles [64]. Cela permet également de résoudre des problématiques complexes en partageant les responsabilités entre les partenaires.

Le rapport trois relevait un certain nombre de ces partenariats, principalement établis dans des villes nord-américaines. Ces partenariats pouvaient prendre différentes formes, mais s'articulaient principalement autour des notions de complémentarité au transport en commun, au déplacement des premiers et derniers kilomètres ainsi qu'au transport adapté [65]. Nous suggérons à la Ville de Montréal et à l'ARTM d'étudier la possibilité de développer des partenariats avec des compagnies privées qui se spécialiseraient dans le domaine de la mobilité autonome. Cette stratégie pourrait, en plus de fournir un savoir supplémentaire quant à la mise en œuvre de projets de mobilité autonome, diminuer considérablement les coûts de développement, de déploiement et d'opération de projets sur le territoire métropolitain. Cependant, avec l'emploi d'une telle stratégie, il faudrait s'attendre à ce que les profits engendrés par l'utilisation des services déployés soient partagés. Des études mettent l'accent sur l'importance de la clarification des rôles de chacun des acteurs prenant part au projet, mais également sur la répartition équitable des coûts et retombées financières, sans quoi la viabilité du projet pourrait être fortement compromise [66]. De plus, on suggère que certains autres éléments nécessaires au déploiement des véhicules autonomes, tels que les infrastructures numériques (cartes numériques, bases de données, informations dynamiques, systèmes de paiement, etc.), les systèmes de communications (V2I, V2V, V2X, etc.), les infrastructures routières (voies séparées, éléments de protection, etc.) et la gestion des actifs reliés au réseau de transport, fassent l'objet de partenariats public-privé. En ce sens, les partenariats public-privé deviendraient pratiquement essentiels au maintien et à la bonne gestion d'un système de transport incluant les véhicules autonomes.

Nous recommandons également à la Ville de Montréal et à l'ARTM de maintenir et de renforcer les collaborations qu'elle entretient avec d'autres organisations publiques afin de soutenir la recherche et le développement à l'égard de la mobilité autonome. Les institutions universitaires et les consortiums de recherche peuvent être d'une grande utilité pour l'organisation conceptuelle, logistique et physique des éléments propres au concept de mobilité automatisée. Les avancements dans le domaine des véhicules autonomes se font à une vitesse considérable [67]. Il devient donc nécessaire d'acquérir les dernières connaissances traitant du sujet et de se tenir informé quant aux nombreux projets développés et aux essais terrain. De cette façon, la municipalité pourra se doter de mécanismes de mise à niveau des connaissances techniques et ainsi assurer un développement qui tiendra compte des plus récents progrès du domaine. Les différents paliers gouvernementaux peuvent également tenir un rôle important dans la mise en œuvre de projet de mobilité [68]. Autant du point de vue du financement de projets que de l'aménagement d'infrastructures ou même d'incitatifs aux changements comportementaux, les instances gouvernementales peuvent contribuer à l'émergence de nouveaux comportements de mobilité. Les municipalités qui décideraient de faire de la mobilité autonome une priorité devraient profiter de ces supports publics afin d'établir des plans d'action qui permettraient de faciliter la mise en place de projets de mobilité autonome et d'orchestrer une transition où les effets négatifs seraient atténués.

3.2.3 POLITIQUES MUNICIPALES ET MÉTROPOLITAINES

Les politiques de transport peuvent avoir un impact majeur sur les comportements de mobilité, et ce, principalement en milieu urbain. Ainsi, même si la mobilité individuelle relève surtout de choix personnels, elle est influencée grandement par les politiques encourageant des options de mobilité plutôt que d'autres et par les options de développement et d'aménagement retenues dans la municipalité. À titre d'exemple, dans un projet de mobilité autonome, les politiques pourraient notamment influencer le type de voitures utilisées par la population, le nombre de véhicules en circulation, la cohabitation entre le transport public et privé et même ultimement, la quantité d'émissions polluantes produites et le niveau de congestion routière [2, 21, 52]. Les décideurs dans le domaine public voient qu'ils ont une responsabilité envers les intérêts publics et doivent travailler au maintien et à l'amélioration de ceux-ci. Or, en fonction de cette responsabilité, les politiques devraient identifier les principaux domaines de risque pour les intérêts publics et élaborer des réglementations efficaces afin d'en atténuer les impacts négatifs. Très clairement, le domaine des transports est l'un des principaux domaines à risque, particulièrement si l'on tient compte des changements majeurs à venir [26].

Dans la Ville de Vancouver, plusieurs changements dans la mobilité citoyenne se sont fait ressentir grâce à l'adoption de nouvelles politiques municipales. Les modifications effectuées au cours des dernières années permettent désormais aux résidents de se déplacer plus efficacement, de façon moins coûteuse et en utilisant une intermodalité des différents moyens de transport [69]. Plus de 80 % des déplacements de moins de 15 minutes sont maintenant faits par l'utilisation des transports actifs [4]. Il n'est donc pas surprenant de constater que l'une des principales cibles d'actions de la municipalité de Vancouver pour devenir l'une des villes les plus vertes du monde en 2020 soit le transport et la mobilité de ses citoyens [70]. Si bien que la ville a récemment décidé que pour les années à venir, elle allait prioriser les systèmes de transport multimodaux, incluant les voitures autonomes électriques, et ce, au détriment de la possession privée des véhicules [4]. C'est notamment par la mise en place de services de mobilité sur demande que la

ville souhaite modifier les habitudes de mobilité de ses citoyens. Certaines autres villes, telles qu'Amsterdam, Singapour, Tokyo et Stockholm, ont également adhéré au mouvement et visent à modifier leur mobilité urbaine par l'adoption de nouvelles politiques municipales [69]. De fait, ces villes misent principalement sur l'efficacité des lieux de transit intermodal et encouragent le transport actif afin de limiter au maximum la congestion et la pollution urbaine.

Nous recommandons à la Ville de Montréal et à l'ARTM de profiter des expériences qui commencent déjà à être accumulées chez d'autres villes à la suite de l'établissement de nouvelles politiques municipales, comme c'est le cas de la Ville de Vancouver et des autres villes nommées ci-haut afin d'amorcer une transition vers la mobilité autonome. Le fait de pouvoir se fier sur des expériences réelles et concrètes en matière de mobilité urbaine peut faire une différence significative dans le processus de réflexion et d'adoption de projets sur le territoire métropolitain.

Un peu partout à travers le monde, on assiste à l'essor d'un mouvement de développement de villes intelligentes (*Smart-City Challenge*). Mouvement qui a fait son apparition dans le début des années 1990s, mais qui ne cesse de prendre de l'ampleur depuis [71]. Les villes intéressées par le défi se dotent de politiques d'efficacité du trafic routier, de réduction des émissions de CO₂ et d'amélioration de la qualité de vie des citoyens. C'est notamment en misant sur l'intégration rapide des véhicules autonomes électriques et leur connectivité que plusieurs de ces villes tentent d'améliorer leur système de mobilité afin d'optimiser les déplacements de leurs citoyens [72, 73]. En somme, l'objectif du défi est de développer des modèles viables qui seront susceptibles d'être reproduits dans d'autres villes, à l'échelle internationale. Depuis 2015, le *Département des Transports des États-Unis* organise même un concours annuel, incluant une bourse de 40 millions de dollars (majoré de 65 millions depuis 2016), afin d'encourager les municipalités à s'investir dans l'intégration des nouvelles technologies de transport [5]. En 2017, 78 municipalités américaines ont présenté un plan d'alternatives aux comportements de mobilité [28, 33]. Le Canada s'est également doté d'un concours similaire en 2017. En 2019, c'est la Ville de Montréal qui a été couronnée grande gagnante du concours [27] et a remporté un support financier de 50 millions de dollars provenant du Gouvernement du Canada. À travers ce défi, la municipalité désire développer un système d'offre de services de mobilité multimodale qui permettrait de diminuer l'utilisation de l'automobile privée sur le territoire. De cette façon, la mobilité montréalaise pourrait devenir source de cohésion sociale et d'identité citoyenne.

Pour les années à venir, les villes qui se démarqueront quant à leur système de mobilité seront vraisemblablement des villes qui décideront de développer les trois piliers de la mobilité urbaine, soit le partage, l'autonomie et l'électrification des véhicules [69, 23]. Dès lors, les décisions politiques prises auront une influence sur la façon dont les voitures autonomes seront intégrées au système de transport [72, 36]. Les travaux complétés conjointement par l'Université de Santiago du Chili et par l'Université de Barcelone [72] sont d'avis que les urbanistes et les ingénieurs spécialistes du transport devront s'interroger sur les quatre aspects suivants : 1- concevoir des politiques de demande de transport telles que des incitatifs ou des restrictions pour les secteurs privé et public; 2- concevoir des types de transport complémentaires avec les systèmes de transport déjà en place; 3- adapter les infrastructures urbaines en fonction des nouveaux types de transport; 4- concevoir des politiques urbaines selon le type de développement promu à long terme et selon la taille et la forme des villes. L'intérêt porté envers ces différents aspects devrait permettre une meilleure transition du modèle de transport actuel vers les modèles en développement. Concrètement,

cela devrait assurer une cohérence entre les visions théoriques, régulièrement basées sur des simulations, et les réelles modifications apportées au système de transport et aux infrastructures urbaines.

Le *Deloitte University Press* [5] présente dix points cruciaux à aborder par les instances politiques en vue de l'arrivée des véhicules autonomes. L'ensemble de ces points pourraient avoir un impact considérable sur les comportements de mobilité des citoyens. Nous suggérons donc à la Ville de Montréal et à l'ARTM de les prendre en considération.

Tableau 3 : 10 éléments à intégrer à la planification gouvernementale [5]

➤ 1	Établir le cadre juridique
➤ 2	Initier le discours social
➤ 3	Investir dans les infrastructures de transport
➤ 4	Investir dans les infrastructures de communication
➤ 5	Relier les transports publics et privés
➤ 6	Réfléchir la mobilité autonome comme l'industrie du futur
➤ 7	Développer des connexions entre l'industrie du transport et l'industrie des technologies de l'information
➤ 8	Intégrer les véhicules autonomes dans les villes
➤ 9	Promouvoir la recherche, le développement et l'éducation
➤ 10	Promouvoir les essais routiers des véhicules autonomes

Le contexte actuel est favorable aux changements. Nous devons considérer les initiatives de transformation du système de transport et de mobilité, y compris le passage à un écosystème *MaaS*, comme des initiatives urbaines plutôt que comme de simples projets de transport isolés. Il n'y a pas de cadre unique pour réglementer et optimiser la valeur des intérêts publics dans les municipalités. Il importe donc d'être proactifs face aux changements, mais de demeurer réalistes et réfléchis [26]. De fait, nous suggérons que les représentants de la Ville de Montréal et de l'ARTM puissent se pencher le plus rapidement possible sur les différents éléments soulevés afin d'établir un plan logique d'intégration des véhicules autonomes électriques sur le réseau urbain. La transition vers l'autonomie des transports est entamée [71]. En tant qu'instances municipale et métropolitaine, la Ville de Montréal et l'ARTM ont l'occasion de devancer ces

changements en établissant un cadre juridique et technique qui tracerait l'avenir de la mobilité urbaine plutôt que de constater et de subir les changements au fur et à mesure que les véhicules autonomes pénétreront le marché des ventes automobiles. Voilà pourquoi il importe de tenir compte de ces recommandations le plus rapidement possible.

4. CONCLUSION

La Ville de Montréal et la région métropolitaine de Montréal entament une transformation significative qui touchera autant l'aménagement des infrastructures routières que les habitudes de mobilité des citoyens. L'arrivée des véhicules autonomes électriques dans le paysage urbain risque de modifier certains éléments, qui jusqu'à maintenant, semblaient être indispensables au bon fonctionnement des transports métropolitains. Que l'on pense aux espaces de stationnement, aux nombreuses voies de circulation, aux infrastructures routières d'envergure, au système de transport en commun, aux accès de transport actif, aux services de mobilités, etc., tous sont des éléments qui risquent de subir de grandes modifications dans les années à venir. Compte tenu de ces possibles transformations, la Ville de Montréal et l'ARTM ont voulu saisir l'ampleur de l'implication des voitures autonomes électriques dans ce remodelage de l'espace urbain. Ce projet de recherche, tout comme d'autres initiatives de projets pilotes, ont donc été élaborés dans le but d'améliorer et d'enrichir la compréhension des décideurs à l'égard de l'avènement du transport autonome dans la planification urbaine et de proposer diverses recommandations en matière d'utilisation et d'adaptation des terrains et des infrastructures urbaines.

L'intégralité de ce projet de recherche s'est effectuée en quatre phases distinctes. La première phase a permis d'établir un survol des travaux et des études de planifications urbaines qui avaient un volet d'intégration des véhicules autonomes sur le territoire. Dans la deuxième phase, il s'agissait de faire une collecte et une analyse des données scientifiques portant sur les impacts des véhicules autonomes sur l'utilisation du sol et sur les activités urbaines en vue de documenter les principaux enjeux liés à l'aménagement du territoire. La troisième phase a permis de circonscrire les principaux impacts des véhicules autonomes sur la mobilité des personnes et sur les infrastructures de transport. Finalement, la quatrième et dernière phase a été dédiée à la mobilisation des connaissances développées dans les phases précédentes, d'une part en mettant l'emphasis sur deux scénarios de développement possibles proprement axés sur la réalité métropolitaine de la Ville de Montréal, et d'autre part en formulant des recommandations sur certains éléments distinctifs dans la mise en œuvre de projets de mobilité urbaine intégrant les véhicules électriques autonomes.

Nous l'avons constaté avec la réalisation des précédentes phases de recherche, les impacts des voitures autonomes électriques sur l'aménagement du territoire, la transformation des infrastructures et les variations comportementales en termes de mobilité risquent d'être significatifs. Cette future transformation requiert de prendre en compte l'ensemble des éléments soulevés par la littérature afin de coordonner la mise en place de projets fonctionnels, viables et évolutifs, qui sauront s'adapter à l'émergence du nouveau paysage des transports urbains.

En somme, les quatre phases de réalisation de ce projet de recherche ont permis d'étudier l'étendue des transformations qui toucheront autant l'aménagement des infrastructures routières que les habitudes de mobilité des citoyens à la suite de l'intégration des véhicules autonomes sur le réseau routier urbain. Avec cette étude, la Ville de Montréal et l'ARTM seront, nous l'espérons, mieux outillées dans leur processus de gestion de la transformation vers une mobilité intégrant les véhicules autonomes. Avec une gestion proactive face aux changements attendus, sans doute, il y a là une l'occasion de faire de la Ville de Montréal et de la région métropolitaine un pôle de développement nord-américain en matière de technologie de

conduite automatisée et une référence internationale quant au processus de prise de décisions face à l'adoption de ces nouvelles technologies.

RÉFÉRENCES

- [1] Haboucha, C.J., Ishaq, R. and Shiftan, Y. (2017) User preferences regarding autonomous vehicles. Transportation Research Part C, 13 p.
- [2] Nazari, F., Noruzoliaee, M. and Mohammadian, A. (2018) Shared versus private mobility: Modelling public interest in autonomous vehicles accounting for latent attitudes. Transportation Research Part C, 22 p.
- [3] Caillou, A. (2017) La voiture autonome, un atout pour l'autopartage? Journal Le Devoir: <https://www.ledevoir.com/societe/transports-urbanisme/502145/autopartage-un-marche-pour-la-voiture-autonome>
- [4] Smith, C. (2016) Turning Transportation: Challenges and Opportunities Presented to the City of Vancouver by Autonomous Vehicles. University of British Columbia, Greenest City Scholars Report, 93 p.
- [5] Herrmann, A., Brenner, W. and Stadler, R. (2018) Autonomous Driving: How the Driverless Revolution Will Change the World. Emerald insight Publishing, 461 p.
- [6] Lima Azevedo, C., Marczuk, K., Raveau, S., Soh, H., Adnan, M., Basak, K., Loganathan, H., Deshmunkh, N., Lee, D. H., Frazzoli, E. and Ben-Akiva, M. (2015) Microsimulation of Demand and Supply of Autonomous Mobility On-Demand. National Research Foundation Singapore, 20 p.
- [7] Zhou, Y., Li, Y., Hao, M. and Yamamoto, T. (2019) A System of Shared Autonomous Vehicles Combined with Park-And-Ride in Residential Areas. Institute of Materials and Systems for Sustainability, 15 p.
- [8] Chen, Y., Gonder, J., Toung, S. and Wood, E. (2019) Quantifying autonomous vehicles national fuel consumption impacts: A data-rich approach. Transportation Research Part A, 12 p.
- [9] Utriainen, R. and Pöllänen, M. (2018) Review on mobility as a service in scientific publications. Research in Transportation Business & Management, 9 p.
- [10] Société de transport de Montréal (2018) Rapport d'activité 2018. Mouvement collectif STM, 21 p.
- [11] Henderson, J. and Spencer, J. (2016) Autonomous Vehicles and Commercial Real Estate. Cornell Real Estate Review, 14: 1, p.44-55.
- [12] Kittlelson & Associates (2018) Effects of Emerging Technologies on Land Use and Development. Boston, Kittlelson & Associates, 16p.
- [13] Aono, S. (2019) Identifying Best Practices for Mobility Hubs. TransLink, 72 p.
- [14] City of Toronto (2019) Automated Vehicles Tactical Plan. Interdivisional automated vehicles working group, 176 p.
- [15] Lukic, S. and Pantic, Z. (2013) Cutting the Cord: Static and dynamic wireless charging of electric vehicles. IEEE Electrification Magazine, September, pp. 57-64.

- [16] Salazar, M., Rossi, F., Schiffer, M., Onder, C.H. and Pavone, M. (2018) On the Interaction between Autonomous Mobility-on-Demand and Public Transportation Systems. 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 8 p.
- [17] Lesage, J. (2016) **Wireless Charging May Become Common Over the Next Four Years.** **HybridCARS:** <https://www.hybridcars.com/wireless-charging-may-become-common-over-the-next-four-years/>
- [18] Babicheva, T., Burghout, W., Andreasson, I. and Faul, N. (2018) Empty vehicle redistribution and fleet size in autonomous taxi systems. IET Intelligent Transport Systems, 6 p.
- [19] Heineke, K. and Kampshoff, P. (2019) Change vehicles: How robo-taxis and chuttles will reinvent mobility. McKinsey&Company: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/change-vehicles-how-robo-taxis-and-shuttles-will-reinvent-mobility#>
- [20] Zhang, W., Guhathakurta, S. and Khalil, E.B. (2018) The impact of private autonomous vehicles on vehicle ownership and unoccupied VMT generation. Transportation Research Part C, p. 156-165.
- [21] Wen, J., Nassir, N. and Zhao, J. (2019) Value of demand information in autonomous mobility-on-demand systems. Transportation Research Part A, 14 p.
- [22] Shen, Y., Zhang, H. and Zhao J. (2018) Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore. Transportation Research Part A, 12 p.
- [23] The City of Calgary (2017) Future of Transportation in Calgary. The City of Calgary Transportation Department and Calgary City Council, 120 p.
- [24] International Association of Public Transport (2019) Report: Mobility as a Service. Advancing Public Transport, Combined Mobility Committee, 28 p.
- [25] Falconer, R., Zhou, T. and Felder, M. (2018) Mobility-as-a-Service: The value proposition for the public and urban systems. ARUP, 52 p.
- [26] Farenden, A. and Lee-Williams, T. (2019) The Future of Mobility ans MaaS Governance and Orchestration. ARUP, 72 p.
- [27] Ville de Montréal (2019) Défi des villes intelligentes du Canada: Candidature finale de la Ville de Montréal. Ville de Montréal, 114 p.
- [28] Corwin, S., Jameson, N., Pankratz, D. and Willigmann, P. (2016) The future of mobility: What's next? Deloitte University Press, 28 p.
- [29] Heilig, M., Hilgert, T., Mallig, N., Kagerbauer, M. and Vortish, P. (2017) Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System – a Case Study in the Stuttgart Region. Transportation Research Procedia, 9 p.
- [30] Pickford, A. and Chung, E. (2019) The shape of MaaS: The potential for MaaS Lite. IATSS Research, Volume 43, Issue 4, p. 219-225.
- [31] Wen, J., Chen, Y. X., Nassir, N. and Zhao, J. (2018) Transit-oriented autonomous vehicle operation integrated demand-supply interaction. Transportation Research Part C, 19 p.

- [32] Polydoropoulou, A., Pagoni, I., Tsimpa, A., Roumboutsos, A, Kamargianni, M. and Tsouros, I. (2020) Prototype business models for Mobility-as-a-Service. *Transportation Research Part A* - 131, p. 149-162.
- [33] Goodall, W., Fishman, T. D., Bornstein, J. and Bonthron, B. (2017) The rise of mobility as a service: Reshaping how urbanites get around. *Deloitte Review*, 20 p.
- [34] Ville de Montréal (2017) Statistiques de l'industrie du taxi. Ville de Montréal : https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8177,92215659&_dad=portal&_schema=PORTAL
- [35] Truong, L.T., De Gruyter, C., Currie, G. and Delbosc, A. (2017) Estimating the trip generation impacts of autonomous vehicles on car travel in Victoria, Australia. *Springer Science and Business Media*, 14 p.
- [36] Fitt, H., Curl, A., Dionisio-McHugh, R., Fletcher, A., Frame, B. and Ahuriri-Driscoll, A. (2018) Autonomous vehicles and future urban environments: Exploring implications for wellbeing in an ageing society. *National Science Challenges*, 22 p.
- [37] Perrine, K. A., Kockelman, K.M. and Huang, Y. (2018) Anticipating long-distance travel shifts due to self-driving vehicles. 97th Annual Meeting of the TRB, 17 p.
- [38] Trommer, S., Kolarova, V., Fraedrich, E., Kröger, L., Kickhöfer, B., Kuhnimhof, T., Lenz, B. and Phelps, P. (2016) Autonomous driving: The Impact of Vehicle Automation on Mobility Behaviour. *Institute for Mobility Research*, 94 p.
- [39] Sochor, J., Arby, H., Karlsson, M. and Sarasini, S. (2018) A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of societal goals. *Research in Transportation Business & Management*, 12 p.
- [40] Wong, Y. Z., Hensher, D. A. and Mulley, C. (2020) Mobility as a service (MaaS): Charting a future context, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Elsevier, vol. 131(C), p. 5-19.
- [41] Schmidt, A., Reers, J. and Gerhardy, A. (2018) Mobility as a Service: Mapping a route towards future success in the new automotive ecosystem. *Accenture*, 12 p.
- [42] WSP | Parsons Brinckerhoff (2016) Making better places: Autonomous vehicles and future opportunities. *United Kingdom*, 31p.
- [43] Snelder, M., Wilmink, I., Van der Gun, J., Hoseini, P. and Van Arem, B. (2019) Mobility Impacts of Automated Driving and Shared Mobility: Explorative Model and Case Study of the Province of North-Holland. *Delft University of Technology*, 18 p.
- [44] Paquin, S. et Dubé, A-S. (2012) La carte conceptuelle du transport actif urbain. *Cahiers de Géographie du Québec*, Volume 55, Numéro 156, p. 399-428.
- [45] Soteropoulos, A., Berger, M. and Ciari, F. (2019) Impacts of automated vehicles on travel behavior and land use: an international review of modelling studies. *Transport Reviews*, 39:1, 29-49.
- [46] Hydro-Québec (2015) Bornes de recharge pour véhicules électriques – guide technique d'installation. *Hydro-Québec, Montréal*, 56 p.

- [47] AVÉQ (2019) Statistiques SAAQ-AVÉQ sur l'électromobilité au Québec en date du 31 décembre 2019. Association des Véhicules Électriques du Québec : <https://www.aveq.ca/actualiteacutes/statistiques-saaq-aveq-sur-lelectromobilite-au-quebec-en-date-du-31-decembre-2019-infographie>
- [48] Pérez, J., Nashashibi, F., Lefaudeaux, B., Resende, P. and Pollard, E. (2013) Autonomous Docking Based on Infrared System for Electric Vehicle Charging in Urban Areas. *Sensors* 2013:13, p. 2645-2663.
- [49] Hanley, S. (2018) 5 Wireless Charging Myths Exploded By WiTricity CEO. *CleanTechnica*: <https://cleantechnica.com/2018/01/28/wireless-charging-myths-exploded-witricity-ceo/>
- [50] Abertis – On The Road (2019) Refuelling from the earth. Abertis : <https://www.ontheroadtrends.com/refuelling-from-the-earth/?lang=en>
- [51] Klooststra, B. and Roorda, J. (2019) Fully autonomous vehicles: analyzing transportation network performance and operating scenarios in the Greater Toronto Area, Canada. *Transportation Planning and Technology*, 15 p.
- [52] Corporate Partnership Board Report (2015) Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic? *International Transport Forum*, 36 p.
- [53] Parlement du Canada (2016) Véhicules autonomes et connectés : état d'avancement de la technologie et principaux enjeux stratégiques pour les pouvoirs publics au Canada,» *Bibliothèque du Parlement: Publications de recherche*, 24 p.
- [54] Moreno, A.T., Michalski, A., Llorca, C. and Moeckel, R. (2018) Shared Autonomous Vehicles Effect on Vehicle-Km Traveled and Average Trip Duration. *Journal of Advanced Transportation*, 11 p.
- [55] Meyer J., Becker H., Bösch P. and Axhausen K. W. (2017) Autonomous Vehicles: The Next Jump in Accessibilities? *Research in Transportation Economics*, 35 p.
- [56] Hörl, S. Ciari, F. and Axhausen, K. W. (2016) Recent perspectives on the impact of autonomous vehicles. *Institute for Transport Planning and Systems*, 40 p.
- [57] Levinson, D. (2015) Climbing Mount Next: The Effects of Autonomous Vehicles on Society. *Minnesota Journal of Law, Science & Technology*, 16:2, p. 787-809.
- [58] Canadian Urban Transit Association (2017) Integrated Mobility: Implementation Toolbox. *Dillon Consulting*, 122 p.
- [59] Bélanger, J. (2019) Le maire espagnol qui a «domestiqué» les voitures dans son centre-ville. *Radio-Canada* : <https://ici.radio-canada.ca/sujet/changements-climatiques/pour-comprendre/document/nouvelles/article/1144861/maire-espagne-ponteverda-voiture-circulation-centre-ville-miguel-anxo-fernandez-pietonnisation>
- [60] Université de Sherbrooke (2020) Libre accès au transport en commun pour les étudiants. Université de Sherbrooke : Développement durable : <https://www.usherbrooke.ca/developpement-durable/campus/mobilite/etudiants/>
- [61] Currie, G. (2018) Lies, Damned Lies, AVs, Shared Mobility, and Urban Transit Futures. *Journal of Public Transportation*, 12 p.

- [62] Lutin, J.M. (2018) Not if, but When: Autonomous Driving and the Future of Transit. *Journal of Public Transportation*, 12 p.
- [63] Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B. and Winner, H. (2016) *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*. Daimler und Benz Stiftung. Springer Open, 698 p.
- [64] Zenasni, Z. (2019) *Case Studies & Recommendations to support new mobility options on Bowen Island, BC*. TransLink, 38 p.
- [65] Blodgett, M., Khani, A., Negoescu, D. and Benjaafar, S. (2017) *Public/Private Partnerships in Transit: Case Studies and Analysis*. Minnesota Council on Transportation Access, 35p.
- [66] Shladover, S.E. and Bishop, R. (2015) *Road Transport Automation as a Public-Private Enterprise*. EU-US Symposium on Automated Vehicles: White Paper I, 35p.
- [67] Shaheen, S., Totte, H. and Stocker, A. (2018) *Future of Mobility White Paper*. California Transportation Plan 2050, 127 p.
- [68] Canadian Council of Motor Transport Administrators (2016) *White Paper: Automated Vehicles in Canada*. CCMTA/CCATM, 58 p.
- [69] McKerracher, C., Knupfer, S., Orlandi, I., Tijs Nijssen, J., Wilshire, M, Hannon, E., Ramanathan, S. and Ramkumar, S. (2016) *An Integrated Perspective On The Future Of Mobility*. Bloomberg New Energy Finance, 68 p.
- [70] City of Vancouver (2020) *Greenest City 2020 Action Plan: 2018-2019 Implementation Update*. City of Vancouver: <https://vancouver.ca/files/cov/greenest-city-action-plan-implementation-update-2018-2019.pdf>
- [71] Cheri, A. and Mouftah, H.T. (2019) *Autonomous vehicles in the sustainable cities, the beginning of a green adventure*. *Sustainable Cities and Society*, Volume 51, 8 p.
- [72] Medina-Tapia, M. and Robusté, F. (2018) *Exploring paradigm shift impacts in urban mobility: Autonomous Vehicles and Smart Cities*. *Transportation Research Procedia*, 8 p.
- [73] Szigeti, S., Csiszár, C. and Földes, D. (2017) *Information Management of Demand-Responsive Mobility Service Based on Autonomous Vehicles*. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology, 9 p.



Consortium international de recherche
sur la gouvernance des grands projets
d'infrastructure

www.kheops.ca