



JANVIER 2020

IMPACTS DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES AUTONOMES SUR LA MOBILITÉ

RAPPORT DE RECHERCHE



IMPACTS DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES AUTONOMES SUR LA MOBILITÉ

JANVIER 2020

Soumaya Cherkaoui

Nathalie Drouin

Félix-Antoine Simoneau

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

ISBN : 978-2-9818612-2-1

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 les domaines 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 étudie les enjeux et les impacts de l'intégration des véhicules autonomes sur le territoire en lien avec les habitudes et les comportements de mobilité individuelle. En raison des études disponibles, l'accent sera principalement porté sur les territoires urbains. Pour ce faire, le rapport sera divisé en six sections distinctes. Il sera question de la distance de déplacement, du volume de circulation, des modes de transport et du transfert modal, de la cohabitation du transport public et privé, du taux de possession des véhicules et des comportements de mobilité.

Au terme de ce rapport, le lecteur sera en mesure de distinguer les principales retombées prévues de l'intégration des véhicules autonomes par rapport aux comportements de mobilité des usagers de la route. Le travail permettra, entre autres, d'améliorer la compréhension des étapes préalables à l'implantation du transport autonome en milieu urbain, mais également de saisir les changements qui s'apprêtent à opérer dans les modes de transport et les répercussions qui en découlent.

Revue de littérature

La réalisation de cette troisième phase du projet de recherche a nécessité la collecte de nombreuses informations. Pour ce faire, plus d'une centaine de documents, principalement des articles révisés provenant de la communauté scientifique ainsi que des rapports de planification municipale, ont été étudiés. Étant donné que la littérature traitant des impacts des véhicules autonomes sur le territoire, les infrastructures et la mobilité évolue à une vitesse impressionnante, un effort a été porté afin de retenir des travaux datant de 2015 à aujourd'hui. Parmi ces œuvres, plusieurs traitent d'études ou de projets pilotes instaurés sur des régions spécifiques, notamment à Singapour, aux États-Unis, au Canada, en Allemagne, au Japon, au Royaume-Uni et en Australie. Ces projets reflètent les plus récents avancements réalisés dans la recherche du domaine des transports, principalement rattachés aux technologies de conduite autonome.

Enjeux, défis, menaces et opportunités

Le rapport a été divisé en six sections distinctes à travers lesquelles l'essentiel des informations relatives à la mobilité des personnes a été relevé. Dans le but d'exposer les principaux constats soutenus par

l'élaboration de chacune de ces sections, le tableau qui suit reprend la structure élaborée dans le rapport en y soulevant les enjeux, les défis, les menaces et les opportunités. Cela dresse un portrait succinct des éléments qui seront traités dans le rapport échéant. Ainsi, chacune des rangées du tableau sera reprise à la fin des sections respectives, accompagnées des principales tendances dégagées en lien avec les sujets traités.

Tableau 1 : Enjeux, défis, menaces et opportunités de chacune des sections du rapport

	Enjeux	Défis	Menaces	Opportunités
Distances de déplacement	- Alération de la perception temporelle - Modification des distances de déplacement		- Augmentation des distances de déplacement avec des VAE privés - Augmentation du nombre de kilomètres à vide avec des VAE privés et pression grandissante sur les infrastructures routières	- Diminution des distances avec le partage des VAE - Diminution du nombre de kilomètres parcourus par l'ensemble des véhicules (moins de voitures) avec des VAE partagés
Volume de circulation	- Changement de la demande de transport avec l'arrivée de nouveaux usagers - Circulation à vide	- Limiter la circulation à vide - Favoriser le partage des VAE	Augmentation du volume de circulation, principalement dans un contexte de VAE privés	- Réduire le volume de circulation par le développement de services de partage - Faciliter les déplacements des personnes en bas âges, des aînées et des personnes à mobilité réduite
Modes de transport et transfert modal	- Changements potentiels dans les modes de transport en milieu urbain, périurbain, et longue distance - Transferts modaux potentiels	- Transfert modal des transports en commun vers la voiture autonome en milieu urbain et périurbain - Transfert modal des transports actifs en milieu urbain	- Diminution des parts du marché des transports publics - Diminution de l'utilisation du transport en commun et du transport actif	- Intégrer la voiture autonome partagée dans une offre de services intermodaux - Réduire le nombre de voitures en circulation - Favoriser le transport actif
Cohabitation du transport public et privé	- Transports privés par VAE - Augmentation du nombre d'utilisateurs des VAE	- Maintenir un système de transport public efficace et attrayant - Conserver une demande suffisante au maintien des services de transport public	- Augmentation du nombre d'utilisateurs des VAE - Diminution des utilisateurs des transports publics - Développement de partenariats non équitables	- Transformation positive des transports publics (technologies automatisées) - Favoriser une offre de services incluant plusieurs modes de transport - Inclure plusieurs acteurs dans l'offre de services
Taux de possession des véhicules	- Disponibilité des VAE - Coûts de possession des VAE - Nombre variable de véhicules par ménage - Émergence d'un système de services partagés		- Retard dans la disponibilité des VAE de niveau 4 et 5 - Prix de vente non compétitif - Réticences à l'adoption dans l'opinion publique	- Diminution du nombre de voitures par ménage - Utilisation de services de transport autonome partagé
Comportements de mobilité	- Différentes technologies permettent d'évaluer les options de mobilité - Les VAE avantageux pour tous les facteurs qui influencent les comportements de mobilité - Augmentation de la popularité du transport partagé à la demande - Investissements et intérêt dans la mobilité de services.	- Augmentation probable de la demande en transport avec les VAE - Concurrence des options de mobilité VAE avec les transports publics - Possession privée des VAE	- Augmentation de la demande - Possession privée des VAE - Absence de partenariats entre les acteurs du transport public et privé pour mieux gérer les nouveaux défis relatifs à l'offre de services de transport incluant les VAE	- Plus grande popularité attendue du transport partagé - Réduction du nombre de véhicules conventionnels privés en présence de VAE partagés - Nouveaux services de mobilité (MaaS) avec VAE - Opportunité pour l'utilisation des systèmes de partage utilisant les VAE

TABLE DES MATIÈRES

NOTES SUR LES AUTEURS	iii
SOMMAIRE EXÉCUTIF	iv
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES.....	xi
1. INTRODUCTION	1
1.1 Précisions terminologiques.....	2
2. DISTANCES DE DÉPLACEMENT.....	3
2.1 Effets de la perception temporelle et de l'économie du temps.....	3
2.2 Effets de la possession privée	5
2.3 Effets du partage des voitures	7
2.4 Nombre de kilomètres parcourus	8
2.5 Conclusion	10
3. VOLUME DE CIRCULATION	13
3.1 Changement de la demande et du nombre de déplacements.....	13
3.2 Circulation à vide.....	16
3.3 Conclusion	17
4. MODES DE TRANSPORT ET TRANSFERT MODAL.....	19
4.1 Déplacements urbains.....	19
4.2 Déplacements périurbains.....	20
4.3 Déplacements de longues distances	22
4.4 Intermodalité	26

4.5	Conclusion	28
5.	COHABITATION DU TRANSPORT PUBLIC ET PRIVÉ	30
5.1	Menaces aux transports publics.....	30
5.2	Possible cohabitation	31
5.3	Compagnies privées	35
5.4	Partenariats public-privé	36
5.5	Transformation des transports publics.....	39
5.6	Conclusion	41
6.	TAUX DE POSSESSION DES VÉHICULES.....	43
6.1	Disponibilité.....	43
6.2	Coûts de possession	46
6.3	Besoins et habitudes de possession	49
6.4	Intérêts et préférences.....	51
6.5	Conclusion	53
7.	COMPORTEMENTS DE MOBILITÉ.....	55
7.1	Modification des habitudes de déplacement	55
7.2	Mobilité de partage.....	56
7.3	Services de mobilité sur demande	60
7.4	Conclusion	63
8.	CONCLUSION	65
	RÉFÉRENCES.....	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Pourcentage approximatif de variation du temps nécessaire au déplacement de toutes les voitures pendant les heures de pointe à Toronto, en fonction du taux de pénétration des véhicules autonomes [12]	4
Figure 2 : Prévion du nombre total de miles parcourus aux États-Unis [13]	7
Figure 3 : Kilomètres parcourus par la flotte de véhicules selon trois scénarios appliqués à la région métropolitaine de Lisbonne [25]	10
Figure 4 : Pourcentage des nouveaux déplacements quotidiens générés par l'utilisation des véhicules autonomes par groupe d'âge [40]	14
Figure 5 : Changements dans l'utilisation de certains modes de transport [44]	19
Figure 6 : Projections et comparaisons des parts du marché détenues par différents modes de transport au Japon [31]	20
Figure 7 : Changements dans les modes de transport pour les déplacements de 50 miles et moins [45] ..	21
Figure 8 : Préférences des répondants allemands face aux nouveaux modes de déplacement [46]	22
Figure 9 : Simulation des déplacements de longues distances avant et après l'introduction des véhicules autonomes [21]	24
Figure 10 : Changements dans les modes de transport pour les déplacements de 50 miles à 400 miles [45]	25
Figure 11 : Système de transport intermodal AMoD [48]	27
Figure 12 : Transfert modal estimé dans un système AMoD [49]	28
Figure 13 : Variation du nombre d'utilisateurs de la voiture privée et du transport public [50]	30
Figure 14 : Nombre de déplacements faits par véhicules autonomes pendant une journée dans la ville de Nagoya, Japon [35]	32
Figure 15 : Comparaison des coûts à l'utilisation de différents types de véhicule [52]	35
Figure 16 : Projet MBTA – évolution du nombre de déplacements, des coûts d'utilisation et d'opération [62]	38
Figure 17 : Navette autonome produite par Transdev et EasyMile [68]	40
Figure 18 : Navette autonome produite par Keolis et NAVYA [67]	40

Figure 19 : Scénarios d'évolution et de révolution face à la disponibilité des voitures autonomes [16].....	44
Figure 20 : Projections des ventes mondiales de véhicules autonomes de niveau 5 [9]	45
Figure 21 : Projections des parts de marché des véhicules autonomes [70]	46
Figure 22 : Combien seriez-vous prêts à payer pour les technologies associées aux voitures autonomes? [72]	47
Figure 23 : Comparaison des coûts d'acquisition et d'opération d'une voiture autonome privée versus d'autres options de transport [70]	48
Figure 24 : Variation des habitudes de possession des véhicules privés, projection 2030 [77]	50
Figure 25 : Préférences des répondants à l'égard des déplacements avec véhicules autonomes [80]	52
Figure 26 : Préférences quant aux choix de véhicules à adopter [81]	53
Figure 27 : Technologies qui influencent les comportements de mobilité [74]	55
Figure 28 : Exemples de compagnies de partage et investissements financiers [3]	56
Figure 29 : Variation du nombre d'utilisateurs des véhicules autonomes partagés en Allemagne et aux États-Unis, projections pour 2035 [50]	58
Figure 30 : Nombre de voitures appartenant aux compagnies Communauto et Car2Go en circulation dans la ville de Montréal [83]	59
Figure 31 : Écosystème de transport en action [13]	61
Figure 32 : Solution de mobilité optimale à chacun des déplacements spécifiques [77]	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Enjeux, défis, menaces et opportunités de chacune des sections du rapport	v
Tableau 2 : Sommaire de la section 2	12
Tableau 3 : Sommaire de la section 3	18
Tableau 4 : Changements dans les volumes de déplacement suite à l'introduction des véhicules autonomes [21]	23
Tableau 5 : Variations dans les déplacements de moins de 500 miles avant et après l'intégration des véhicules autonomes [28]	25
Tableau 6 : Variations dans les déplacements de 500 miles et plus avant et après l'intégration des véhicules [28]	26
Tableau 7 : Sommaire de la section 4	29
Tableau 8 : Caractéristiques du transport en commun et du transport public à la demande [57]	34
Tableau 9 : Sommaire de la section 5	42
Tableau 10 : Sommaire de la section 6	54
Tableau 11 : Sommaire de la section 7	64
Tableau 12 : Synthèse des principales tendances	66

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AAA	American Automobile Association
ABM	Activity-Based Travel Model
ACS	Autonomous Car-Sharing
AMoD	Autonomous Mobility on Demand
AV	Autonomous Vehicle
CAMPO	Capital Area Metropolitan Planning Organization
CCTA	Contra Costa Transportation Authority
CPB	Corporate Partnership Board
DCTA	Denton County Transportation Authority
EC	Environmental Concern
ED	Enjoy Driving
FMOD	Flexible Mobility on Demand
GPS	Global Positioning System
ITE	Institute of Transportation Engineers
LIDAR	Light Detection And Ranging
MaaS	Mobility as a Service
MBTA	Massachusetts Bay Transportation Authority
MCTA	Minnesota Council on Transportation Access
MNL	Multinomial Logit Model
NCTR	National Center for Transit Research
NHTS	National Household Transportation Survey
PPP	Partenariat Public Privé
PTOD	Public Transportation On Demand
SNCFP	Swiss National Science Foundation's Project
SVTTS	Subjective Value of Travel Time Savings
TaaS	Transportation as a Service
TAZ	Traffic Analysis Zone
TNC	Transportation Network Compagny
VA	Véhicule Autonome
VAE	Véhicule Autonome Électrique
VISTA	Victorian Integrated Survey of Travel and Activity
VTTS	Value of Travel Time Savings
VOTT	Value of Travel Time
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything

1. INTRODUCTION

La mobilité est au cœur de nos vies, au cœur de nos villes. Elle est essentielle à notre fonctionnement en société. Elle est responsable du mouvement des personnes, des biens, des ressources, de même que des idées et des interactions sociales [1]. Que nous l'abordions en fonction des facteurs économiques qu'elle soulève : acheminement et approvisionnement de marchandises, distributions de biens et services, accessibilité au lieu de travail, ouverture de marchés, etc., ou plutôt en fonction des aspects sociaux qu'elle assure : rencontres, activités, visites, explorations, études, divertissements, etc., on s'aperçoit que c'est essentiellement cette mobilité qui rend nos territoires actifs et vivants. Plusieurs auteurs [2, 3, 4, 5, 6, 7] s'entendent pour dire que la notion de mobilité, principalement celle vécue en milieux urbains, est en train de vivre une transformation majeure, articulée par plusieurs changements radicaux. Ces changements, qui sont principalement initiés par les innovations technologiques dans le domaine des transports, touchent principalement l'apparition des véhicules autonomes.

L'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier pourrait devenir la plus importante transformation dans le domaine des transports depuis l'apparition de l'automobile [8]. Plusieurs auteurs [9, 10, 11] estiment que cette transformation aura des répercussions majeures sur les habitudes de déplacement individuelles et collectives ainsi que sur l'aménagement du réseau routier et des dispositions urbaines. La littérature scientifique prévoit notamment une augmentation des distances de déplacement, une augmentation du nombre d'utilisateurs du réseau routier, une variation dans l'utilisation de certains modes de transport ainsi que l'apparition de nouveaux services sur demande en lien avec l'utilisation des voitures autonomes. Bien que la vitesse de pénétration du marché des voitures autonomes demeure incertaine [4, 9, 8, 12, 13, 14, 15, 16], tout comme le sont les impacts de l'ajout de ces voitures au système de transport actuel, les chercheurs travaillent à approfondir ces notions afin de mieux articuler la façon dont ces changements s'implanteront dans nos sociétés.

Ce rapport tente de faire le point sur divers questionnements soulevés par les habitudes de mobilité individuelles et collectives ainsi que les impacts de l'introduction des véhicules autonomes dans l'offre de service de mobilité. Dans un souci de convergence scientifique, les propos soulevés par les différents auteurs ont été regroupés lorsque cela était possible. Toutefois, puisque les projections, simulations et opinions à l'égard de l'implantation de modèle incluant les voitures autonomes sont nombreuses et parfois partagées, la convergence n'a pas toujours été possible. Ainsi, par moment, certains propos seront supportés par un grand nombre d'auteurs et de recherches tandis qu'à certains autres moments, les informations présentées ne seront soutenues que par quelques auteurs ou travaux.

1.1 PRÉCISIONS TERMINOLOGIQUES

Étant donné que plusieurs termes et terminologies sont utilisés par la littérature qui traite des impacts des véhicules autonomes sur la mobilité, il devient pertinent de poser certaines précisions quant à quelques-uns de ceux-ci. Cela dit, quand la littérature utilise les terminologies suivantes, elle fait proprement référence aux définitions suivantes.

Voiture autonome privée : La voiture privée est une voiture qui appartient à une seule personne. Son utilisation est donc personnelle. Elle permet essentiellement le transport de son propriétaire et de son entourage proche.

Voiture autonome partagée : La voiture partagée fait référence au transport d'une pluralité de personnes en simultané. Elle est souvent utilisée sur des itinéraires fixes afin d'accommoder un maximum d'utilisateurs. Plus la voiture contient de passagers, plus elle respecte cette vision du partage de la route.

Voiture autonome communautaire semi-publique : La voiture communautaire semi-publique fait généralement appel à un système de réservation et de location. Souvent réglementée par une procédure d'adhésion, elle permet aux multiples membres du service d'utiliser une même voiture pour leurs besoins personnels.

Voiture autonome communautaire semi-privée : Au contraire de la voiture privée, la voiture communautaire semi-privée appartient à un regroupement de personnes. Généralement relié par des traits communs (lieu de résidence, lieu de travail, lien familial, lien social, etc.), ce groupe fermé, de taille variée, profite de la même voiture pour suffire aux besoins de chacun.

Voiture autonome de type taxi : La voiture de type taxi agit au même titre qu'un taxi régulier, à l'exception qu'elle n'a pas de conducteur. Elle peut donc appartenir à une compagnie privée, à un regroupement ou à une municipalité et assure le transport des personnes en échange de paiements ponctuels.

Transport multimodal : Situation de mobilité qui offre plusieurs moyens de transport pour effectuer un même trajet, mais qui en nécessite un seul. Une décision doit être prise par l'utilisateur en fonction de différents aspects, notamment le confort, la distance, la rapidité et le coût du déplacement.

Transport intermodal : Situation de mobilité qui nécessite plusieurs moyens de transport complémentaires pour effectuer un même trajet. Un minimum de deux types de transport différents est utilisé (également appelé transport bimodal). Une décision doit être prise par l'utilisateur en fonction de différents aspects, notamment le confort, la distance, la rapidité, le coût du déplacement et la facilité de transition d'un moyen de transport à un autre.

2. DISTANCES DE DÉPLACEMENT

Tout d’abord, il est important de mentionner que la deuxième phase de l’étude avait relevé les modifications prévues des distances de déplacement avec l’utilisation des véhicules autonomes. Puisque la deuxième phase traitait principalement de l’utilisation du sol, elle avait mis l’emphase sur les possibilités d’étalement urbain et périurbain. Le présent rapport traite également de la modification des distances de déplacement. Toutefois, dans ce rapport on considère davantage les impacts de l’utilisation des voitures autonomes en lien avec les changements d’habitudes de mobilité.

2.1 EFFETS DE LA PERCEPTION TEMPORELLE ET DE L’ÉCONOMIE DU TEMPS

Plusieurs études démontrent que l’utilisation de la voiture autonome a le potentiel de modifier la perception du temps passé à l’intérieur des moyens de transport [1, 2, 3, 10, 17]. En supprimant les tâches associées à la conduite manuelle du véhicule, diverses autres occupations s’offrent aux usagers de la route [18]. Ceux-ci peuvent désormais réaliser des tâches relatives au travail, aux études, aux divertissements et peut-être même reprendre quelques heures de sommeil perdues. Ces nouvelles occupations permettent de réduire significativement la perception temporelle passée dans les déplacements. Au lieu d’associer le temps des transports quotidiens à une perte significative de production, l’usager peut désormais appréhender ses déplacements de façon à augmenter sa productivité et donc, avoir un sentiment d’économie de temps [10]. C’est ce que l’on nomme la *Valeur Subjective d’Économie en Temps dans les Transports (SVTTS : Subjective Value of Travel Time Savings)* [2, 19]. Certaines sources traitent plutôt de la *VTTT (Value of Travel Time Savings)* ou encore de *VOTT (Value of Travel Time)* qui serait associée aux bénéfices d’économie de temps d’un transport plus rapide et efficace [10, 20].

On estime également que lorsque les voitures autonomes se trouveront en nombre suffisant sur les routes, elles pourront augmenter l’efficacité de la circulation routière. Ainsi, grâce à la conduite connectée et coordonnée, il prendra moins de temps à une voiture autonome qu’une voiture conduite manuellement pour parcourir une même distance [9].

Ces modifications perceptuelles et temporelles pourront, à leur tour, avoir une incidence sur le temps de transport jugé acceptable pour se rendre à destination. Cela devrait donc générer des transports de plus longues distances et de plus longues durées, bouleversant ainsi le système de proximité et de limitation des distances actuellement privilégié [9, 10].

Les simulations effectuées dans la baie de San Francisco, États-Unis [21], démontrent que les déplacements des résidents de la région urbaine tendraient à augmenter de 4 % à 8 % avec l’utilisation des véhicules autonomes si la perception de la valeur de temps passé dans les transports pouvait diminuer de 50 %. Il en revient à dire que si la perception temporelle des déplacements pouvait diminuer de moitié, notamment en raison des nouvelles occupations possibles d’effectuer à l’intérieur des véhicules, on assisterait à une hausse des distances de déplacement.

Une étude menée à Toronto, Canada [12], qui ne considère aucun changement dans la demande, estime que le temps moyen nécessaire à parcourir une distance serait en mesure de diminuer de 20 % lorsque les véhicules autonomes se trouveraient en majorité sur les routes. Dans le cas où l'augmentation de la demande serait d'environ 10 %, l'économie du temps pour parcourir la même distance serait plutôt estimée à environ 15 %. Dans le meilleur des scénarios, cela se traduirait en une réduction moyenne de 7,1 minutes pour les transports incluant l'utilisation des autoroutes et une réduction moyenne de 3 minutes pour les transports incluant les autres types de routes. La figure 1 présente la diminution approximative du temps de déplacement de toutes les voitures aux heures de pointe, en fonction du taux de pénétration des voitures autonomes. Quatre différents scénarios sont proposés en fonction de la réalité urbaine de la ville de Toronto. Le scénario le plus pessimiste se base sur une utilisation restreinte des fonctionnalités des véhicules autonomes sur les autoroutes et le plus optimiste, sur l'utilisation généralisée des véhicules autonomes sur tous les autres types de routes avec une demande additionnelle reliée au taux de pénétration.

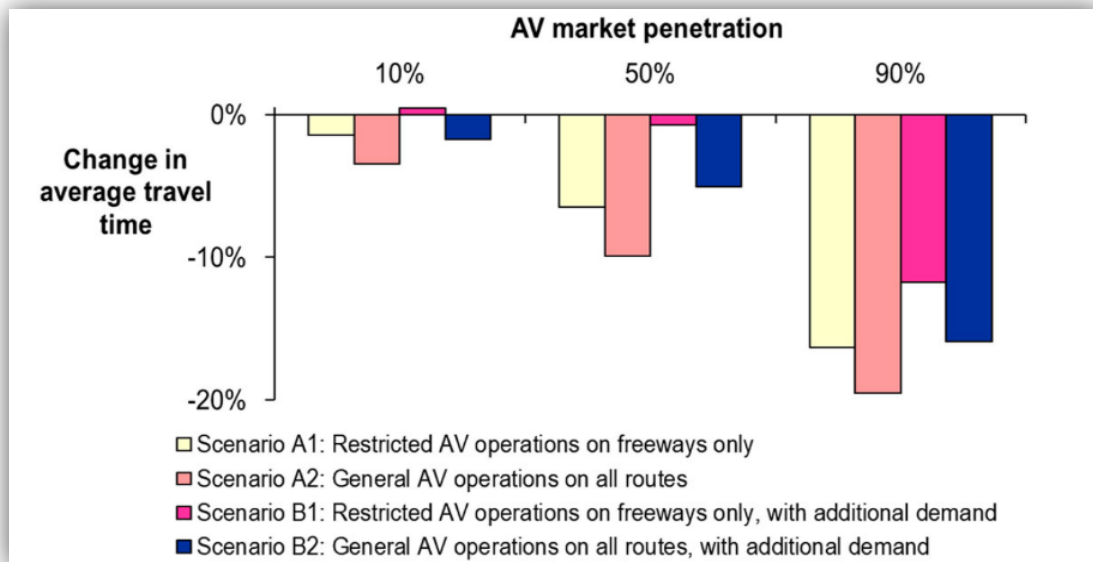


Figure 1 : Pourcentage approximatif de variation du temps nécessaire au déplacement de toutes les voitures pendant les heures de pointe à Toronto, en fonction du taux de pénétration des véhicules autonomes [12]

En considérant qu'avec l'utilisation des véhicules autonomes, les temps de déplacement pour une distance donnée pourraient diminuer, il devient réaliste de penser que les distances de déplacement jugées acceptables par la majorité des usagers de la voiture pourraient augmenter. Justement, des scénarios étudiés sur la grande région métropolitaine de Chicago, États-Unis [22], où l'on cumule les données de 10,2 millions d'usagers du système des transports, 3,8 millions de ménages et plus de 27,9 millions de déplacements chaque jour, prévoient que cette valeur d'économie de temps dans les transports (VOTT) pourrait se traduire par une hausse des distances de déplacement allant de 18 % jusqu'à 59 % avec des taux

de pénétration des véhicules autonomes de 20 % à 75 % respectivement. C'est principalement dans les déplacements de courtes durées, mais de grandes fréquences, notamment les déplacements vers les lieux de travail ou de services courants, que s'effectueraient ces augmentations. Ainsi, avec l'utilisation des véhicules autonomes, la durée moyenne de ces déplacements pourrait passer de près de 20 minutes à plus de 70 minutes.

D'autres travaux convergent dans le même sens. Une étude effectuée à l'Université du Texas, États-Unis [23], estime que l'intégration des voitures autonomes privées et partagées sur les routes risque de provoquer une hausse d'au moins 20 % des distances parcourues, en raison de l'altération de la valeur de temps passé dans les transports. Ces résultats sont également partagés avec une étude effectuée dans la région métropolitaine d'Atlanta, États-Unis [23], où l'on prévoit que la moyenne des déplacements effectués en voitures autonomes sera de plus longue durée et de plus longue distance que celle effectuée en voitures conventionnelles en raison de la variation de perception du temps.

Inversement, d'autres chercheurs [24, 25, 26, 27], estiment que les voitures autonomes ont le potentiel de diminuer la congestion routière et donc, d'augmenter l'efficacité du réseau routier. Toutefois, ils considèrent qu'à court et moyen terme, les voitures autonomes risquent plutôt de provoquer l'effet inverse, c'est-à-dire d'augmenter le temps passé inefficacement dans les transports en raison de la mixité des voitures sur le réseau, du manque d'infrastructures réservées aux voitures autonomes, de l'accroissement de la demande de mobilité individuelle ainsi que de la circulation à vide des voitures.

Ainsi des travaux réalisés dans la grande région métropolitaine de Munich, Allemagne [24], ont estimé que l'augmentation temporaire de la flotte de voitures sur la route pourrait faire augmenter la durée moyenne des transports routiers. Dans les agglomérations urbaines, ce serait une hausse de 30 % qui pourrait se faire ressentir, ce qui limiterait les bénéfices en économie de temps par l'utilisation des voitures autonomes à courts et moyens termes. Selon cette étude, il faudrait un taux de pénétration des voitures autonomes d'au moins 90 % afin de favoriser la circulation fluide des voitures et diminuer le temps des déplacements pour les mêmes distances. Ainsi, l'étude prévoit que la période de transition, où les véhicules autonomes devront partager la route avec les véhicules conventionnels, provoquerait plutôt une augmentation de la durée des déplacements pour les mêmes distances et que les bénéfices attendus en termes d'économie de temps par l'utilisation des véhicules autonomes ne seraient perceptibles qu'au terme de cette même transition.

2.2 EFFETS DE LA POSSESSION PRIVÉE

Des travaux effectués à l'Université du Texas à Austin, États-Unis [28], se sont basés sur la recension des déplacements de longues distances de 2010, incluant plus de 1,17 milliard de déplacements, afin de proposer leurs constats. En supposant que les voitures autonomes pourraient se vendre à un montant d'environ 18 % supplémentaire aux voitures conventionnelles, et ainsi demeurer relativement accessibles pour les consommateurs privés, les distances de déplacement des véhicules autonomes privés pourraient subir une hausse de 9,6 %. Plus particulièrement, ce serait une augmentation de 5 % des distances les plus courtes (2000 miles et moins) et une augmentation de 12 % des distances les plus longues (plus de 2000 miles). Ces augmentations, essentiellement associées à la possession privée des voitures autonomes,

provoqueraient une diminution de l'utilisation des autres modes de transport et provoqueraient une baisse des distances totales parcourues d'environ 6,7 %, tous modes de transports confondus.

Des études faites à partir de données prélevées sur les territoires de l'Allemagne et des États-Unis [2] estiment également que l'utilisation individuelle des véhicules autonomes privés risque de provoquer une augmentation des distances parcourues allant de 3 % à 9 %. Aux Pays-Bas [2], une étude similaire estime plutôt une hausse plus significative de 4 % à 26 % de la distance parcourue par les véhicules autonomes privés en fonction de la variation du taux de pénétration de ces derniers sur le territoire.

En utilisant un modèle d'estimation de préférences de lieux d'habitation MNL (*Multinomial Logit Model*), une simulation effectuée sur le territoire métropolitain de la ville d'Atlanta, États-Unis [29], a été en mesure de déterminer que ce sont les ménages de moins de 40 ans et sans enfants qui seraient les plus susceptibles d'augmenter leurs distances de déplacement par l'utilisation des voitures autonomes privées. Les résultats de l'étude prévoient qu'avec l'utilisation des voitures autonomes privées, ces ménages seraient portés à s'établir plus loin du centre des affaires de la ville. Ainsi, ils feraient augmenter la distance moyenne séparant le centre urbain des lieux de résidence de 16,71 miles à 17,85 miles. Ils seraient également susceptibles de s'éloigner de leur lieu de travail et ainsi faire augmenter la distance moyenne séparant ce dernier de leur résidence de 28.09 miles à 34,67 miles, correspondant respectivement à des augmentations de distance de 7 % et 23 %.

De façon générale, l'utilisation des voitures autonomes privées devrait stimuler l'éloignement des centres urbains [30]. L'augmentation de la vitesse de déplacement, la valeur d'économie de temps ainsi que le gain de productivité dans les transports devraient être en mesure de convaincre un bon nombre de résidents de s'établir dans des lieux périphériques aux centres des villes. Ce mouvement serait principalement initié par l'attraction des zones à plus faible valeur foncière, mais également par l'attraction des plus grands espaces et le désir de tranquillité. Or, la littérature estime qu'une utilisation privée des véhicules autonomes engendrerait une nouvelle vague d'exode urbain qui irait au-delà des banlieues déjà existantes [28]. Cette situation favoriserait la création de banlieues dans un rayon allant jusqu'à 60 kilomètres en périphérie des métropoles et donc, provoquerait une augmentation considérable des distances de déplacements quotidiens des résidents de ces nouvelles banlieues.

Une étude effectuée sur le territoire de la Nouvelle-Zélande [30] prévoit que la possession privée des véhicules autonomes serait particulièrement intéressante pour les personnes retraitées. Libre de toutes obligations professionnelles et souvent affranchi des principales contraintes financières, ce groupe d'âge serait susceptible de vouloir bénéficier des avantages offerts par la possession privée d'un véhicule autonome. Leur désir de liberté et leurs contraintes réduites en termes de temps les pousseraient à profiter au maximum de l'utilisation de la voiture autonome. Contrairement au contexte des déplacements actuels, ils pourraient passer plus de temps sur la route sans devoir se soucier des effets négatifs de la conduite automobile. L'étude prévoit alors une augmentation considérable des distances parcourues par ce groupe d'âge. On estime également qu'en Nouvelle-Zélande, le pourcentage de la population représenté par les plus de 60 ans passera de 15 % en 2016 à plus de 30 % en 2050. Cette tendance serait également perceptible dans la plupart des villes européennes et nord-américaines, où l'on dénombre une forte augmentation des groupes d'ainés [31]. Ainsi, dans un contexte de priorisation de la possession privée des véhicules, l'augmentation des distances parcourues par les retraités pourrait se multiplier en fonction de

l'augmentation de ce groupe d'âge et par le fait même, provoquer une hausse des distances moyennes de déplacements.

2.3 EFFETS DU PARTAGE DES VOITURES

L'utilisation partagée des véhicules autonomes risque plutôt de limiter le phénomène d'expansion urbaine. Selon une étude réalisée à Melbourne, Australie [32], il est à prévoir qu'avec une utilisation partagée des voitures, les personnes concernées seraient plutôt portées à s'établir près des centres urbains. Le contexte favoriserait alors une concentration démographique dans le centre de la ville et sa banlieue proche, qui se situe dans un rayon périphérique allant de 5 kilomètres à 15 kilomètres. Cette situation aurait inévitablement une répercussion majeure sur les distances de déplacements effectuées au quotidien par les usagers de la route. Contrairement au contexte de possession privée des véhicules autonomes, le contexte de partage provoquerait une diminution moyenne des distances de déplacement et stimulerait une hausse des valeurs foncières dans le centre des municipalités.

En se basant sur la croissance de la population américaine et la répartition des différents groupes d'âge dans la société, le *Deloitte University Press* estime une augmentation de la distance totale parcourue par la flotte de véhicules aux États-Unis d'ici 2040 [13]. La figure 2 illustre cette augmentation en démontrant que les distances parcourues passeraient d'environ 3,9 millions de miles en 2020 à près de 4,7 millions de miles en 2040. Cette augmentation serait partiellement attribuable à l'arrivée de nouveaux usagers dans le système de transport, mais principalement due à l'augmentation des distances de déplacement causée par l'utilisation des voitures autonomes. Ainsi, l'étude démontre, en tenant compte de l'évolution des habitudes de mobilité partagée et non partagée, une augmentation du kilométrage total parcouru de plus de 20 % en 20 ans. La figure démontre également que la majorité des déplacements de 2040 seront effectués en mode partagé, ce qui sera inévitablement très bénéfique pour l'efficacité du réseau routier.

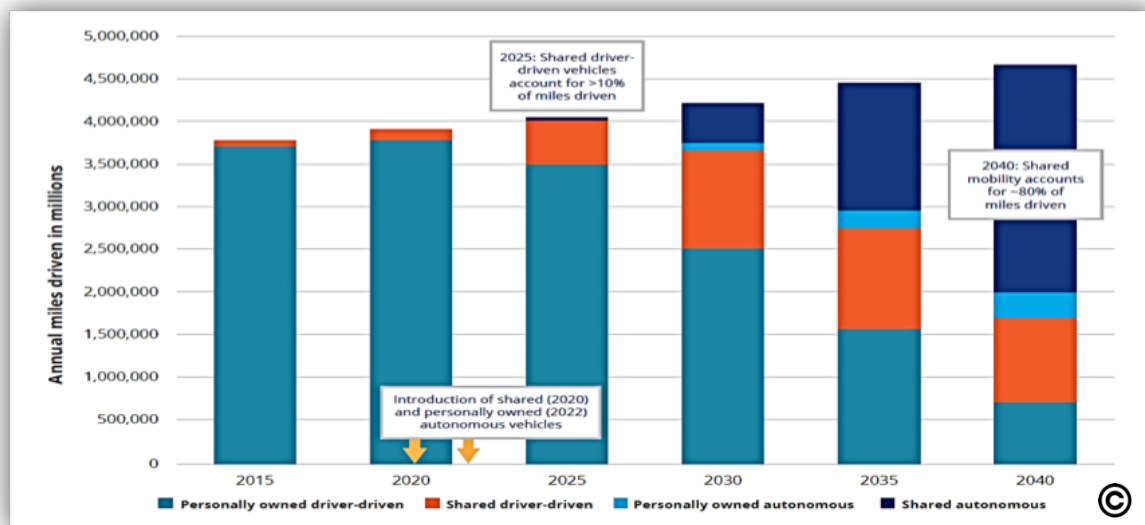


Figure 2 : Préviction du nombre total de miles parcourus aux États-Unis [13]

Bien que l'utilisation des systèmes prônant le partage des véhicules soit en constante progression, on estime que l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier stimulera fortement cette forme d'utilisation des transports [13]. Selon la littérature, ce sont les jeunes qui seraient les plus susceptibles à vouloir opter pour le transport partagé [30]. Ainsi, contrairement au désir des générations vieillissantes à vouloir posséder une voiture et profiter de leur liberté de déplacement, les générations plus jeunes opteraient plutôt pour le délaissement volontaire des voitures et tendraient à se rapprocher le plus possible du centre des affaires. On prévoit donc à partir de 2040 un changement radical dans le modèle de possession des véhicules puisque les jeunes générations actuelles formeront la majorité du bassin de travailleurs et les générations actuellement vieillissantes seront progressivement écartées de la population. De cette façon, la mobilité de partage risque de prendre un essor significatif et par le fait même, entraîner une diminution globale des distances de déplacement.

2.4 NOMBRE DE KILOMÈTRES PARCOURUS

Des études effectuées sur le territoire des villes de Dallas et Fort Worth au Texas, États-Unis [33], ont également démontré que l'utilisation des véhicules autonomes privés allait provoquer une hausse des kilomètres parcourus. Les cinq différentes simulations effectuées dans les travaux démontrent toutefois une faible variation du nombre de kilomètres parcourus en comparaison aux voitures conduites manuellement. Ainsi, l'étude prévoit une augmentation moyenne de 2,8 % des distances parcourues par les voitures autonomes privées, notamment en raison de la circulation à vide et de l'arrivée de nouveaux groupes d'utilisateurs.

Effectivement, en raison de divers facteurs, dont le repositionnement des véhicules, la recherche de stationnement, le retour au domicile, etc., les déplacements à vide risquent d'avoir un impact majeur sur les distances parcourues par chacun des véhicules autonomes privés. Une étude réalisée sur le territoire de Zurich, Suisse [5], estime qu'en fonction des divers facteurs soulevés, l'augmentation des distances de déplacement des voitures privées devrait être d'au moins 10 % en milieux urbains et 15 % en milieux périurbains.

Une étude réalisée sur le territoire de Toronto, Canada [12], estime que d'ici 2030, la distance parcourue par la majorité des utilisateurs du réseau routier métropolitain pourrait croître de 25 % à 50 %. C'est notamment en raison de l'augmentation de la productivité individuelle à bord des véhicules, de la plus grande efficacité du réseau routier, mais également de la diminution des coûts associés au transport et de la facilité à coordonner ces derniers que ces projections ont été réalisées. Les travaux démontrent toutefois que le nombre de kilomètres parcourus par les voitures autonomes serait tributaire du taux de pénétration de celles-ci. Plus les véhicules autonomes privés se trouveraient en grand nombre sur le réseau routier, moins l'accentuation des kilomètres parcourus serait importante. Les auteurs estiment donc qu'au terme de la pénétration des véhicules autonomes, l'augmentation des distances de déplacement serait moins significative qu'au début de leur intégration sur le marché des ventes.

D'autres simulations portant sur différents scénarios de pénétrations des véhicules autonomes dans la région de Seattle, États-Unis [12], ont également soulevé une hausse des déplacements avec l'utilisation des technologies reliées à l'automatisation des voitures. Selon cette étude, un taux de pénétration de 10 %

serait accompagné d'une hausse des kilomètres parcourus de 20 %. Un taux de 50 % serait associé à une hausse de 15 % et finalement, un taux de 90 % serait associé à une hausse de 10 %. Ces estimations relèvent de l'explication que les premières voitures autonomes seraient probablement victimes d'une plus grande demande en raison de l'aspect de nouveauté qu'elles susciteraient. Par la suite, la normalité s'installerait au fur et à mesure que les véhicules autonomes gagneraient le marché des ventes et ainsi, ferait diminuer les distances parcourues par une stabilisation de la demande.

En comparaison à un système de possession privée de voitures, l'offre de services de partage de véhicules autonomes semi-publics ou semi-privés permettrait de diminuer considérablement le nombre de kilomètres parcourus par la flotte de véhicule en circulation. En fait, une simulation effectuée en suivant les habitudes de transport des ménages sur le territoire d'Austin, Texas, États-Unis [24], a montré que le partage des véhicules pouvait mener à une diminution du kilométrage excédentaire relié à l'utilisation de la voiture autonome. En raison de la diminution de la longueur et de la fréquence des déplacements à vide, le nombre de kilomètres excédentaires pourrait passer de 8,7 %, dans le cas d'utilisation de voitures autonomes privées, à 1,5 % avec l'utilisation de voitures autonomes partagées. Cette situation permettrait par le fait même d'augmenter le taux d'occupation des véhicules et d'amenuiser la pression effectuée sur les infrastructures routières.

Dans le cas où les voitures autonomes seraient utilisées sous forme de taxi, des études menées dans les villes de Berlin, Lisbonne et Austin [26] ont démontré que l'utilisation d'une seule voiture partagée dans un centre urbain pourrait remplacer au minimum trois voitures conventionnelles privées. Ce taux de remplacement dépendrait principalement de la demande associée à l'offre de service, mais également de la longueur et de la durée du trajet [34]. Les voitures autonomes partagées pourraient ainsi rouler beaucoup plus que les voitures privées et donc, faire augmenter considérablement le nombre de kilomètres parcourus par voiture [26]. Cette augmentation serait partiellement attribuable au repositionnement des véhicules autonomes vides, mais également à la collecte et au dépôt successifs des clients sur le territoire [25]. De cette façon, on assisterait à une baisse du nombre de voitures en circulation sur les routes, mais à une hausse significative des distances parcourues par chacune d'elles.

Ces études, tout comme plusieurs autres [14, 25, 35, 36, 37], s'entendent sur le fait que l'utilisation de véhicules autonomes de type taxi permettrait de réduire considérablement le nombre de voitures sur les routes. La plupart des études s'entendent sur un ratio de remplacement inférieur à une voiture autonome pour 10 voitures conduites manuellement. Elles s'entendent également sur le fait que le nombre de kilomètres parcourus par chacune de voitures autonomes serait passablement plus élevé que le nombre de kilomètres parcourus par les voitures actuelles ou même que les voitures autonomes privées. Les 16 scénarios étudiés par le CPB : *Corporate Partnership Board*, arrivent à des conclusions similaires, avec des pourcentages d'augmentation de la distance parcourue par véhicule allant de 6,4 % à 103,2 % en fonction du type d'utilisation du véhicule autonome, du taux de pénétration et de l'efficacité du système de transport en commun [25]. La figure 3 représente l'augmentation du nombre de kilomètres parcourus dans la région métropolitaine de Lisbonne en se basant sur 3 scénarios: 1) un scénario impliquant les données de déplacements actuels de la ville de Lisbonne; 2) un scénario impliquant des véhicules autonomes partagés de type taxi (TaxiBots : plusieurs passagers partageant le même trajet) combinés à un système de transport en commun à haute capacité; et 3) un scénario impliquant des véhicules autonomes de type taxi privé (AutoVots : un seul passager à la fois) sans système de transport en commun à haute capacité.

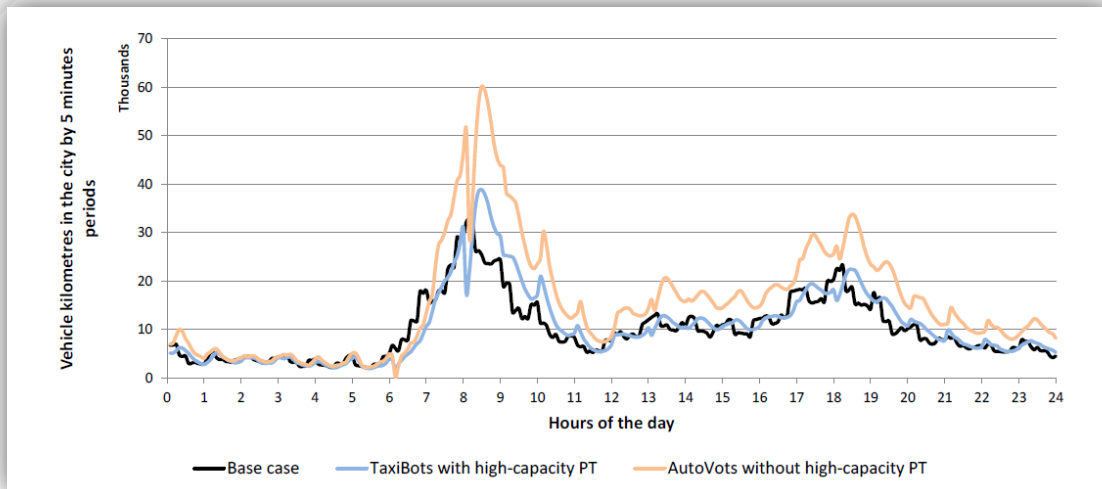


Figure 3 : Kilomètres parcourus par la flotte de véhicules selon trois scénarios appliqués à la région métropolitaine de Lisbonne [25]

Les scénarios présentés dans la figure 3 traitent de l'augmentation du nombre total de kilomètres parcourus par la flotte urbaine de véhicules autonomes. Les résultats démontrent que le scénario impliquant les TaxiBots (ligne bleue) est très similaire à la situation de transport actuelle (ligne noire). On peut ainsi déduire que les véhicules autonomes de type taxi partagé peuvent réduire considérablement le nombre de véhicules présents sur les routes, en ne faisant varier que très peu le nombre de kilomètres parcourus par l'ensemble des véhicules en circulation. L'utilisation de véhicules autonomes de type taxi privé permet également de faire diminuer le nombre de véhicules sur les routes. En revanche, cette utilisation occasionne pratiquement un doublement du nombre de kilomètres parcourus par la flotte automobile aux heures de pointe [25]. Cela dit, le scénario impliquant les véhicules autonomes partagés est d'autant plus souhaitable pour une région métropolitaine à mobilité élevée qui souhaiterait faire diminuer le nombre de véhicules sur son réseau routier ainsi que le nombre de kilomètres totaux parcourus par la flotte automobile.

2.5 CONCLUSION

L'utilisation des véhicules autonomes risque de modifier les distances de déplacement. Les résultats de nombreuses études [9, 21, 22, 24, 28, 33] tendent à démontrer que les distances seront augmentées puisque le transport sera plus efficace, moins contraignant et permettra de se concentrer sur autre chose que la conduite du véhicule. Bien entendu, ces projections dépendent de plusieurs éléments, notamment les types d'utilisations prioritaires avec l'utilisation des véhicules autonomes, le niveau de variation de la demande, la perception temporelle, la productivité dans les transports, le taux de pénétration des voitures et la vitesse de modification des habitudes de mobilité des usagers.

Puisque la perception du temps passé dans les voitures autonomes sera différente de celle passée dans les voitures conventionnelles, les recherches estiment que les déplacements s'effectueront sur de plus longues distances [2, 10, 12, 19, 20]. Le fait de pouvoir s'occuper à autre chose que la conduite du véhicule modifiera la perception du temps passé à l'intérieur de ce dernier. Cela aura pour effet de stimuler la productivité des passagers et de provoquer des déplacements de plus longues distances. Ainsi, les personnes pourront faire le choix de demeurer plus loin de leur lieu de travail sans toutefois en ressentir les inconvénients normalement associés aux transports de longues distances. La durée des déplacements, quant à elle, variera en fonction de la distance des déplacements, de l'efficacité et de la fluidité de la circulation des véhicules autonomes sur le réseau routier et du taux de pénétration de ces derniers.

Dans le cas où l'utilisation des véhicules autonomes serait priorisée comme moyen de transport privé, la circulation à vide [5, 25, 33] et l'augmentation de la demande risqueraient de faire augmenter les distances parcourues par les véhicules [2, 26, 34]. De plus, l'attrait de la productivité et de l'économie de temps dans les transports risquerait d'éloigner les lieux de résidences des centres urbains et des lieux de travail. On assisterait alors à un exode urbain qui contribuerait à l'augmentation des distances moyennes de déplacements.

Dans le cas où l'utilisation des véhicules autonomes serait priorisée comme moyen de transport partagé, cela risquerait de faire diminuer le nombre de voitures en circulation sur les routes [14, 24, 25, 35, 36, 37]. Toutefois, puisque dans ce cas les véhicules rouleraient en quasi-permanence, alternant collectes et dépôts de passagers, cela ferait augmenter considérablement le nombre de kilomètres parcourus par chacun des véhicules.

Finalement, l'augmentation de la demande associée à la croissance de la population et à l'arrivée de nouveaux usagers [13, 29] provoqueraient également une nette augmentation des distances parcourues par la flotte des véhicules autonomes, et ce, qu'ils soient privés ou partagés.

Le tableau qui suit reprend l'essentiel des informations émises dans la section 2 en relevant les enjeux, les menaces et les opportunités reliés aux distances de déplacement avec l'utilisation des véhicules autonomes. De plus, ce même tableau relève les principales tendances soulevées par cette section.

Tableau 2 : Sommaire de la section 2

	Enjeux	Menaces	Opportunités
Distances de déplacement	- Altération de la perception temporelle - Modification des distances de déplacement	- Augmentation des distances de déplacement avec des VAE privés - Augmentation du nombre de kilomètres à vide avec des VAE privés et pression grandissante sur les infrastructures routières	- Diminution des distances avec le partage des VAE - Diminution du nombre de kilomètres parcourus par l'ensemble des véhicules (moins de voitures) avec des VAE partagés
	Principales tendances		
	- Diminution de la perception du temps passé dans les transports - Diminution du temps nécessaire aux déplacements (exception de la période de transition) - Augmentation des distances de déplacement en utilisation privée des VAE - Augmentation du nombre de kilomètres parcourus par véhicule		

3. VOLUME DE CIRCULATION

3.1 CHANGEMENT DE LA DEMANDE ET DU NOMBRE DE DÉPLACEMENTS

L'un des plus grands bénéfices attendus par le déploiement des véhicules autonomes serait de renforcer l'indépendance des personnes n'ayant pas de permis de conduire valide, comme les jeunes, les personnes âgées et les personnes à mobilité réduite [5, 38, 39]. Jumelés à une augmentation du confort perçu à l'intérieur des véhicules et un possible gain en productivité, ces avantages devraient permettre, entre autres, de stimuler la demande dans le transport routier. En d'autres termes, avec l'utilisation des véhicules autonomes, il deviendrait plus pratique et plus efficace d'effectuer des déplacements [14]. Or, sans changements dans le modèle de possession des véhicules, cette situation aurait pour effet d'augmenter l'utilisation des voitures autonomes relativement aux voitures conventionnelles et provoquerait un plus grand volume de circulation sur le système routier [14, 17].

Une étude menée sur le territoire de Victoria en Australie [40] prévoit une augmentation dans la demande des déplacements quotidiens avec l'arrivée des voitures autonomes. C'est en utilisant les données d'une étude de cas (2007-2010) obtenues par le VISTA (*Victorian Integrated Survey of Travel and Activity*) et en émettant certaines hypothèses sur la disponibilité des voitures autonomes de niveau 4, sur la possibilité que les personnes âgées entre 12-17 puissent circuler en voiture autonome sans supervision et sur le maintien du système de transports publics conventionnel, que les résultats ont été obtenus. Les résultats de ladite étude démontrent que la moyenne des déplacements augmenterait de 4,14 % et que les personnes âgées de plus de 76 ans seraient celles pour qui l'augmentation serait la plus considérable (18,5 %), suivies par le groupe des 18-24 ans (14,6 %) et des 12-17 ans (11,1 %). La figure 4 illustre le pourcentage des nouveaux déplacements quotidiens générés par l'utilisation de la voiture autonome pour chacun des groupes traités dans l'étude. On remarque que tous les groupes, à l'exception des 0-11 ans et des 30-65 ans, seraient en situation d'accroissement de leur nombre de déplacements automobiles quotidiens. L'étude a délibérément voulu écarter les deux groupes d'âge mentionnés puisqu'elle jugeait que les 0-11 ans manquaient d'autonomie pour effectuer des déplacements quotidiens sans supervision et que les 30-65 ans, en raison de leurs responsabilités professionnelles et familiales, n'allaient pas effectuer de nouveaux déplacements significatifs sur une base régulière.

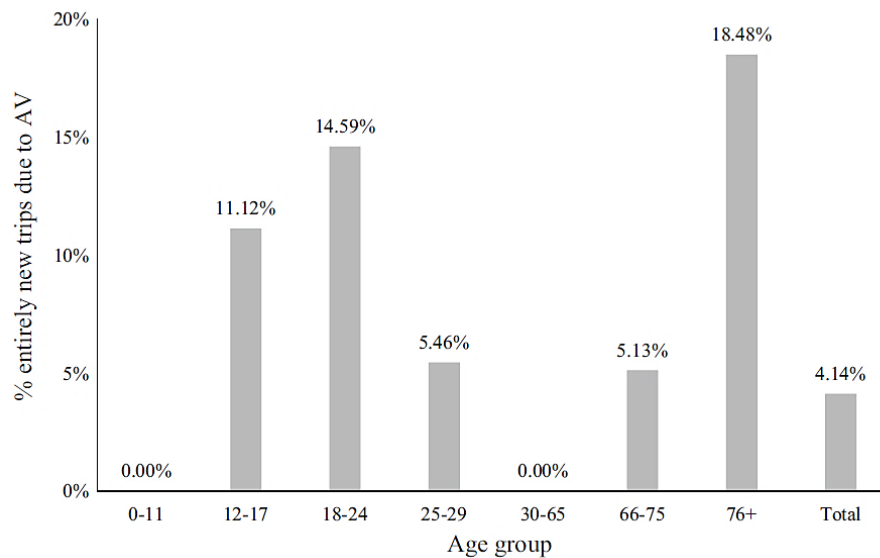


Figure 4 : Pourcentage des nouveaux déplacements quotidiens générés par l'utilisation des véhicules autonomes par groupe d'âge [40]

Cette même étude [40] estime qu'en raison de l'augmentation probable du nombre de déplacements dus à l'augmentation de la demande provenant des personnes âgées et des personnes plus jeunes, la transition vers l'utilisation de la voiture autonome devrait s'orchestrer conjointement avec une augmentation du taux d'occupation dans les voitures, afin de limiter l'augmentation de volume de circulation. Advenant le cas où le taux d'occupation demeurerait le même qu'actuellement, l'étude prévoit une augmentation de 7,31 % des voitures présentes sur les routes. Cette augmentation se ferait essentiellement au détriment de l'utilisation des modes de transport alternatifs (transports publics et transports actifs) habituellement utilisés par ces groupes d'âge. Une augmentation d'au minimum 7,31 % du taux d'occupation des voitures est donc nécessaire, selon l'étude, afin de maintenir le volume de circulation routière actuel.

Selon le NHTS (*National Household Transportation Survey*) des États-Unis [41], 25 % de la population de plus de 65 ans ainsi que 35 % des personnes avec des restrictions médicales passeraient actuellement la majorité de leurs journées au même endroit afin d'éviter les déplacements. Les chercheurs de l'étude soulignent qu'en Amérique du Nord, le nombre de personnes de plus de 65 ans est en constante augmentation, que les prévisions estiment qu'il représentera plus d'un quart de la population totale d'ici 2030. Ils soulignent également que près de 90 % des déplacements effectués par ce groupe d'âge se font avec l'utilisation de la voiture. Les auteurs concluent alors qu'il est possible de prévoir une grande augmentation de la demande lorsque les véhicules pleinement autonomes seront disponibles. En supposant que les personnes de plus de 19 ans sans permis de conduire puissent se déplacer au même titre que les conducteurs, que les personnes de plus de 65 ans sans restrictions médicales puissent se déplacer au même titre que les 19-64 ans et que les personnes avec des restrictions médicales puissent se déplacer plus facilement, cette même étude [41] estime une hausse de plus de 14 % de la demande en transport, soit près de 475 milliards de kilomètres en déplacements supplémentaires par année pour les États-Unis.

Une étude effectuée sur le territoire de la Nouvelle-Zélande [30] souligne que l'augmentation de la demande par les personnes âgées est même souhaitable, et propose d'envisager des restructurations du système de transport qui tiendraient compte du bien-être et de la mobilité des personnes âgées. En effet, en vieillissant, les occasions de participer à des activités sociales, économiques ou culturelles sont influencées par l'environnement immédiat et par les options de déplacement. Ainsi, réduire ou stopper la conduite automobile peut influencer négativement la qualité de vie des gens plus âgés, notamment par la perte du sentiment d'indépendance. Cela peut même se faire ressentir par la multiplication des comportements d'isolation et d'exclusion sociale. L'utilisation de la voiture autonome pourrait devenir très bénéfique dans cette restructuration, selon les auteurs, puisqu'elle pourrait permettre d'augmenter la demande de déplacements engendrés par ces populations particulières et les aider à regagner un certain niveau d'indépendance.

À partir des données prélevées dans le *Swiss microcensus* 2010, le SNCFP : *Swiss National Science Foundation's Project* [5] démontre que l'arrivée de nouveaux groupes d'utilisateurs dans le système de transport routier pourrait faire augmenter la demande en transport automobile jusqu'à 16 %. C'est en supposant que les personnes mineures et les personnes âgées puissent substituer l'ensemble de leurs déplacements par l'utilisation de la voiture autonome que ces projections ont été réalisées. Cette situation se traduirait inévitablement par une hausse de la circulation routière qui s'effectuerait au détriment de l'utilisation des modes de transport alternatifs tels que le vélo, la motocyclette, l'autobus, le train ou le taxi, normalement plus utilisés par les groupes de personnes ne possédant pas de permis de conduire.

Les résultats d'un sondage publié sur *Transport Research* et effectué auprès des parents de jeunes enfants américains [42] s'attardent à l'impact des véhicules autonomes sur la mobilité des jeunes de moins de 16 ans qui ne sont pas en âge de posséder un permis de conduire. Les conclusions soulignent que l'utilisation des véhicules autonomes pourrait devenir très profitable pour ces jeunes et leurs parents. Pour ce faire, deux scénarios distincts ont été étudiés; l'un impliquant un parent à l'intérieur du véhicule accompagnant le jeune et l'autre excluant le parent du véhicule. Dans le premier scénario, les répondants de l'étude affirment qu'ils apprécieraient le fait de pouvoir passer du temps de qualité avec leurs enfants, sans avoir à se soucier de la conduite du véhicule. Dans le deuxième scénario, les répondants affirment plutôt qu'ils apprécieraient de ne pas avoir à transporter constamment leurs enfants et ainsi gagner de la flexibilité dans leur horaire personnel. Toutefois, dans ce deuxième scénario, plusieurs répondants soulèvent des préoccupations et inquiétudes face à la sécurité des enfants qui se trouveraient seuls à bord des véhicules. De ces préoccupations, le manque de supervision, la saine utilisation des sièges adaptés et des ceintures de sécurité, la confiance envers le véhicule ainsi que la réaction de l'enfant face à une situation imprévue seraient les plus communes. C'est la raison pour laquelle les résultats de l'étude considèrent que la transmission de données audio et/ou vidéo serait essentielle, particulièrement au début et à la fin du parcours, afin d'assurer la sécurité des enfants qui se déplaceraient seuls à bord des véhicules autonomes. Les auteurs estiment que sans cette transmission de données, la grande majorité des parents ne seraient pas favorables à laisser leurs enfants circuler seuls à bord d'un véhicule autonome, et donc qu'une augmentation du volume de circulation ne serait pas à prévoir dans ce cas. À l'inverse, l'intégration d'un système de transmission de données en temps réel pourrait contribuer à une hausse significative de la demande de transport et de l'augmentation du volume de circulation puisque ce groupe d'âge constitue actuellement plus de 20 % de la population totale de l'étude.

D'autres types d'utilisateurs pourraient également profiter des commodités offertes par l'utilisation des véhicules autonomes. Une étude [2] cite en exemple les gens qui fréquentent des soirées festives, où la consommation d'alcool ou d'autres substances limite actuellement la possibilité de repartir seuls à bord d'un véhicule. Ces nouveaux usagers pourraient ainsi contribuer à l'augmentation du volume de circulation en dehors des heures de pointe, mais également contribuer à réduire l'utilisation de certains modes de transport alternatifs. De fait, diverses autorités ont déjà senti le besoin de réguler certaines des libertés relatives à la future utilisation des véhicules autonomes. C'est notamment le cas dans les États de la Floride et du Nevada aux États-Unis, où déjà on impose la présence d'une personne lucide ayant un permis de conduire valide à l'intérieur de chaque véhicule. Cette situation limite par le fait même les déplacements à vide, les problématiques liées aux incapacités des personnes à mobilité réduite ainsi que le manque de supervision des enfants en bas âge et des autres personnes en manque d'autonomie.

En plus de l'augmentation de la demande reliée à certains groupes d'âge, une étude de l'Université de Delft aux Pays-Bas [43] prévoit que les véhicules autonomes devraient permettre aux gens des régions plus éloignées d'effectuer des déplacements quotidiens afin de se rendre au travail ou même de profiter des services offerts par les centres urbains. Ainsi, dans le scénario le plus extrême envisagé par l'étude, où le taux de pénétration des voitures autonomes serait de 100 % et où le partage des véhicules ne serait pas pris en compte, l'étude prévoit une hausse considérable de la demande faisant que le volume de circulation augmenterait de 41 % à 68 %. Inversement, dans les scénarios où le partage des véhicules serait optimisé, c'est une diminution du volume de circulation qui serait à prévoir.

3.2 CIRCULATION À VIDE

Avec l'utilisation des voitures autonomes, la circulation à vide serait utile afin de permettre aux voitures de se stationner dans un lieu à proximité de la destination, de retourner dans un point de services, de retourner au lieu de domicile du propriétaire ou encore d'aller à la rencontre de nouveaux usagers [10].

Des travaux rapportés par le *IET Journals* [27] relèvent que la demande en transport varierait énormément en fonction des périodes de la journée. Normalement beaucoup plus intense le matin et en fin de journée. Dans le cas d'utilisation de véhicules autonomes de type taxi ou de services d'autopartage, l'étude souligne qu'un choix devrait s'imposer dans la façon dont les voitures seraient redistribuées à vide aux points de forte demande. Est-ce que les voitures devraient suivre une stratégie réactive : lors du dépôt d'un passager, la voiture attend de recevoir un nouvel appel de service avant de se diriger, à vide, vers l'endroit réclamé? Ou plutôt une stratégie proactive : la voiture vide anticipe l'endroit où la demande sera la plus forte à cette période de la journée et retourne vers cet endroit, sans nécessairement avoir reçu une demande de service? De plus, à la suite du dépôt du passager, est-ce que la voiture vide devrait se diriger automatiquement vers le client qui est en attente depuis le plus longtemps ou plutôt vers la personne la plus près du lieu où elle se trouve? Cette dernière décision aurait inévitablement un impact majeur sur volume de circulation des véhicules autonomes vides sur les routes. Justement, une étude réalisée sur le territoire de Paris, France [27], impliquant 20 stations d'embarquement et 100 véhicules autonomes de type taxi, a pu démontrer que l'utilisation de stratégies proactives pouvait être très bénéfique pour le volume de circulation des véhicules et le temps d'attente des clients. Dans un contexte de stratégie réactive, où les voitures se dirigeraient simplement vers les clients les plus près, les résultats démontrent que la circulation à vide représentait plus

du tiers des déplacements des taxis et que le temps d'attente moyen des clients se situait à environ 3,3 minutes. Dans un contexte de stratégie proactive, où les voitures étaient relocalisées en fonction des surplus et des déficits de la demande, les résultats indiquent que la circulation à vide avait diminuée d'environ 25 % et que le temps d'attente moyen était désormais de 2,4 minutes.

L'ajout de la circulation à vide sur le réseau routier pourrait contribuer à une hausse de circulation pouvant se chiffrer aux alentours de 53 % selon l'institut pour la planification et les systèmes de transport de Zurich en Suisse [5]. Dans le scénario étudié, où la majorité des personnes détiendrait leur propre véhicule autonome privé, on assisterait à une hausse significative du volume de circulation routière. Une telle situation deviendrait problématique pour plusieurs municipalités et centres urbains puisque le volume de circulation augmenterait au détriment de la capacité du réseau routier et de ses infrastructures. Voilà pourquoi l'utilisation de la voiture autonome privée s'avère un modèle contesté selon les auteurs.

Plusieurs études démontrent que si les habitudes de transport restaient les mêmes que celles actuellement prisées par la majorité des conducteurs, les problématiques de congestion et d'embouteillage ne feraient qu'empirer avec l'utilisation de la voiture autonome privée et la circulation à vide qu'elle engendrerait [9, 34]. La plupart des gens rejoindraient leur destination en étant seuls dans leur véhicule autonome et dès lors, mandateraient leur véhicule de se diriger soit vers un stationnement en périphérie du lieu de dépôt, soit de retourner au lieu de résidence en attendant le moment choisi pour regagner le lieu où se trouve le propriétaire. L'attrait de la liberté individuelle de déplacement serait compromis par des habitudes de transport inadaptées et donc, se résumerait par une inefficacité généralisée du système de transport routier généré par un volume de circulation trop élevé.

Certaines études [5, 9, 34] se penchent sur la pertinence de la législation de la circulation à vide. Dans le cas où les voitures autonomes pourraient circuler sans contrainte d'occupation, cela aurait pour effet de modifier les habitudes de mobilité des utilisateurs, mais également la façon dont seraient desservies les voitures sur le territoire. Les voitures partagées, communautaires ou de type taxi, pourraient bénéficier de la circulation à vide afin d'assurer le transport de nombreuses personnes au courant d'une même journée. Elles pourraient rouler en continu, alternant ainsi embarquements et débarquements de passagers. À l'opposé, si les voitures autonomes n'étaient pas autorisées à circuler à vide, cela aurait pour effet de reproduire un système similaire au système actuel, dans lequel une personne désignée devrait se trouver à bord du véhicule afin d'en assurer la conformité et le bon fonctionnement.

3.3 CONCLUSION

L'augmentation estimée du nombre d'utilisateurs du réseau routier avec l'utilisation des voitures autonomes [5, 14, 17, 38, 39, 40, 41] aurait inévitablement un impact sur le nombre de déplacements et le volume de circulation. Autant les jeunes [42], les moins jeunes [30, 31], que les personnes à mobilité réduite ou à capacités affaiblies [2, 43] pourraient bénéficier des avantages des déplacements avec les voitures autonomes et donc contribuer à l'augmentation de la demande.

La possibilité pour les voitures autonomes de faire des déplacements à vide pourrait également entraîner un plus grand volume de circulation sur les routes [5, 9, 10, 27, 34, 40]. Les études démontrent que les

déplacements effectués par les véhicules privés pour se trouver un espace de stationnement ou pour retourner au domicile du propriétaire et les déplacements générés par le repositionnement des flottes de taxis provoqueraient une hausse considérable du volume de circulation sur le réseau routier.

Bien que ces deux éléments puissent avoir un impact sur le volume de circulation, les études démontrent que les changements apportés par l'arrivée des nouveaux usagers seront de moins grande importance que les changements apportés par la circulation à vide. Dans le scénario le plus pessimiste, où la majorité des personnes détiendraient leur propre véhicule autonome privé, c'est une augmentation possible de 53 % du volume de circulation qui serait estimée [5]. Ces impacts pourraient toutefois être amoindris avec la mise en place de systèmes de partage puisque ceux-ci contribueraient à faire diminuer le nombre de voitures en circulation sur les routes.

Le tableau qui suit reprend l'essentiel des informations émises dans la section 3 en relevant les enjeux, les défis, les menaces et les opportunités reliés au volume de circulation avec l'utilisation des véhicules autonomes. De plus, ce même tableau relève les principales tendances soulevées dans la section.

Tableau 3 : Sommaire de la section 3

	Enjeux	Défis	Menaces	Opportunités
Volume de circulation	- Changement de la demande de transport avec l'arrivée de nouveaux usagers - Circulation à vide	- Limiter la circulation à vide - Favoriser le partage des VAE	Augmentation du volume de circulation, principalement dans un contexte de VAE privés	- Réduire le volume de circulation par le développement de services de partage - Faciliter les déplacements des personnes en bas âges, des aînées et des personnes à mobilité réduite
	Principales tendances			
	- Augmentation projetée de la demande (nouveaux usagers) - Augmentation du volume de circulation (nouveaux usagers + circulation à vide) - Circulation à vide est le facteur qui contribue le plus à l'augmentation du volume de circulation - Le volume de circulation peut être réduit avec les systèmes de partage et des stratégies proactives de redistribution des VAE partagés			

4. MODES DE TRANSPORT ET TRANSFERT MODAL

4.1 DÉPLACEMENTS URBAINS

Des travaux ayant effectué la collecte d'informations auprès des résidents des États-Unis, de l'Allemagne et de la Chine [44] se sont penchés sur la variation de l'utilisation de différents modes de transport avec l'arrivée de services de voitures autonomes partagées. La figure 5 illustre l'impact que pourrait avoir l'introduction de services ACS (*Autonomous Car-Sharing*) sur les déplacements de courtes distances. C'est en supposant que les services de voitures autonomes partagées puissent atteindre 10 % des parts du marché des transports en Allemagne que ces prévisions ont été faites. Les résultats démontrent que l'apparition de ce nouveau mode de transport viendrait bouleverser les habitudes de mobilités des personnes. Le système de voitures autonomes partagées recueillerait des parts du marché au profit des autres modes de transport illustrés, soit la voiture conventionnelle, le transport en commun, la marche et le vélo. En milieu urbain, on dénombre un gain total de plus de 12 % des parts du marché associé aux voitures autonomes partagées, relativement à une diminution approximative de 5 % de la voiture conventionnelle, de 2 % des transports en commun, de 4 % de la marche et de 2 % du vélo.

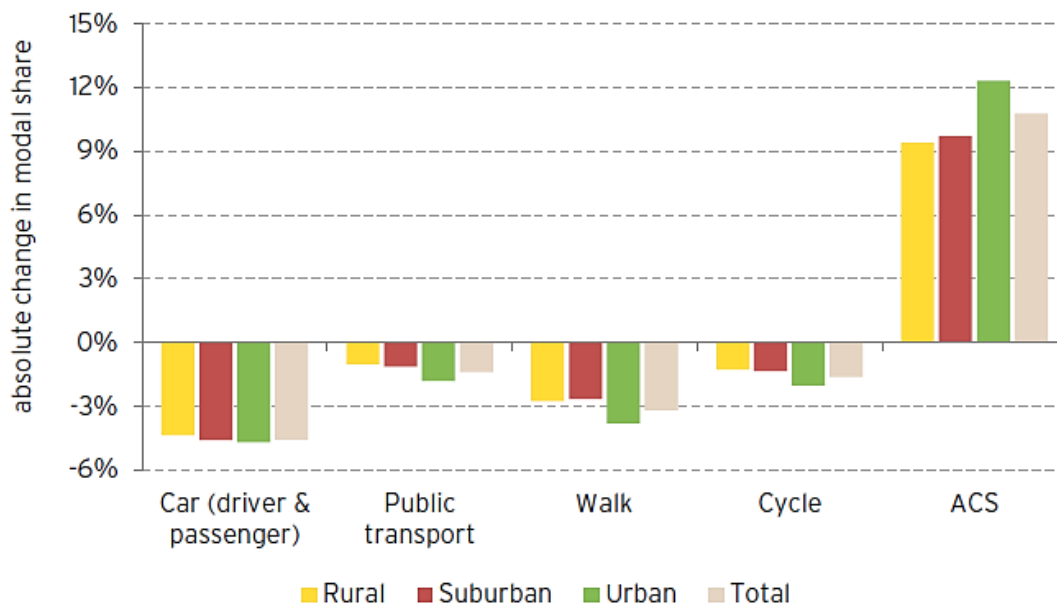


Figure 5 : Changements dans l'utilisation de certains modes de transport [44]

Une étude effectuée au Japon [31] a tenté de comprendre et de prévoir les habitudes de mobilité des nouveaux usagers du système de transport automobile avec l'implantation de services de partages de voitures autonomes. Les résultats de l'étude ont démontré que pour les déplacements de courtes distances, l'utilisation des voitures autonomes partagées allait augmenter d'environ 10 % en comparaison aux déplacements faits par vélo, par train et par autobus, qui eux vont diminuer d'environ 5 %, 4 % et 3 % respectivement. La figure 6 représente la répartition en pourcentage des parts d'utilisation de chacun des modes de transport mentionnés en suivant 3 scénarios distincts. Tout d'abord, il y a le scénario qui représente les parts de marché des déplacements réels au Japon en 2010, en utilisant des voitures conventionnelles. Puis, il y a deux scénarios de projection pour 2040 avec des véhicules autonomes ; un qui tient compte uniquement de la possession privée des véhicules autonomes et un qui tient compte de l'utilisation partagée des véhicules autonomes. Les résultats démontrent que la part de marché de l'utilisation des véhicules autonomes serait plus marquée dans le dernier scénario, celui qui prend en compte le partage des voitures autonomes.

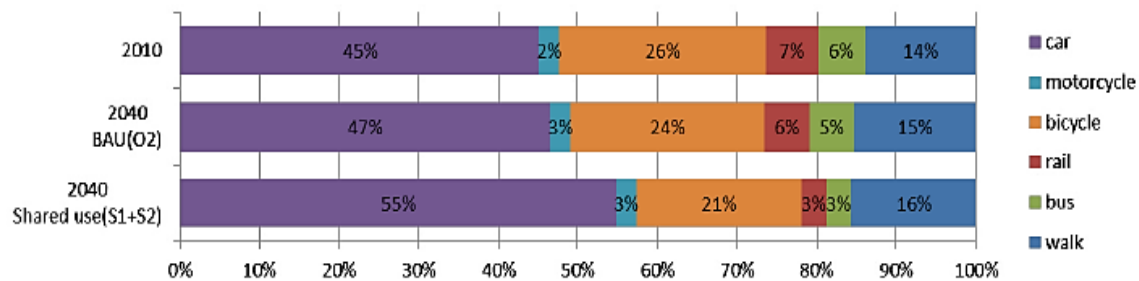


Figure 6 : Projections et comparaisons des parts du marché détenues par différents modes de transport au Japon [31]

Les travaux effectués par la firme Bloomberg [39] vont sensiblement dans le même sens. Toutefois, ceux-ci s'attardent davantage à la valeur économique des déplacements. Puisque les travaux supposent que les voitures autonomes seront électriques, qu'elles auront une conduite optimisée et qu'elles s'opéreront sans chauffeur, les résultats projettent qu'au terme de la pénétration totale des véhicules autonomes, l'utilisation des services de partage de voitures autonomes sera tellement peu coûteuse qu'elle remplacera la majorité des déplacements de courtes distances faits à la marche ou à vélo.

4.2 DÉPLACEMENTS PÉRIURBAINS

Des travaux effectués dans l'État du Texas, États-Unis (*Texas Triangle megaregion*) [45], incluant les villes de Houston, San Antonio, Austin, Dallas et Fort Worth et cumulant des données relatives à plus de 18 millions d'habitants ont été en mesure de projeter des scénarios de modifications des habitudes de mobilité des personnes avec l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier. C'est en se penchant sur les données obtenues par le TAZ (*Traffic Analysis Zone*) et en proposant différents modèles de changement des modes de transport que les résultats ont été obtenus. Ainsi, en plus de prévoir une hausse totale de 15 %

du nombre de déplacements d'ici 2040, cette étude démontre que divers changements modaux s'effectueront sur les déplacements de courtes distances. La figure 7 illustre les changements attendus pour les déplacements de 50 miles et moins. Dans ce graphique, la valeur zéro de l'axe des X représente la situation actuelle relevée par l'étude du TAZ. Les courbes de couleurs représentent, pour leur part, les variations attendues pour 2040 avec l'ajout des véhicules autonomes sur les routes. L'étude prévoit ainsi une diminution de l'utilisation de l'autobus et du train, et une augmentation de l'utilisation de la voiture. Plus particulièrement, ces augmentations et diminutions respectives seraient accentuées pour des déplacements de moins de 20 miles. L'augmentation de l'utilisation de la voiture autonome demeurerait quand même perceptible au-delà de cette distance de 20 miles.

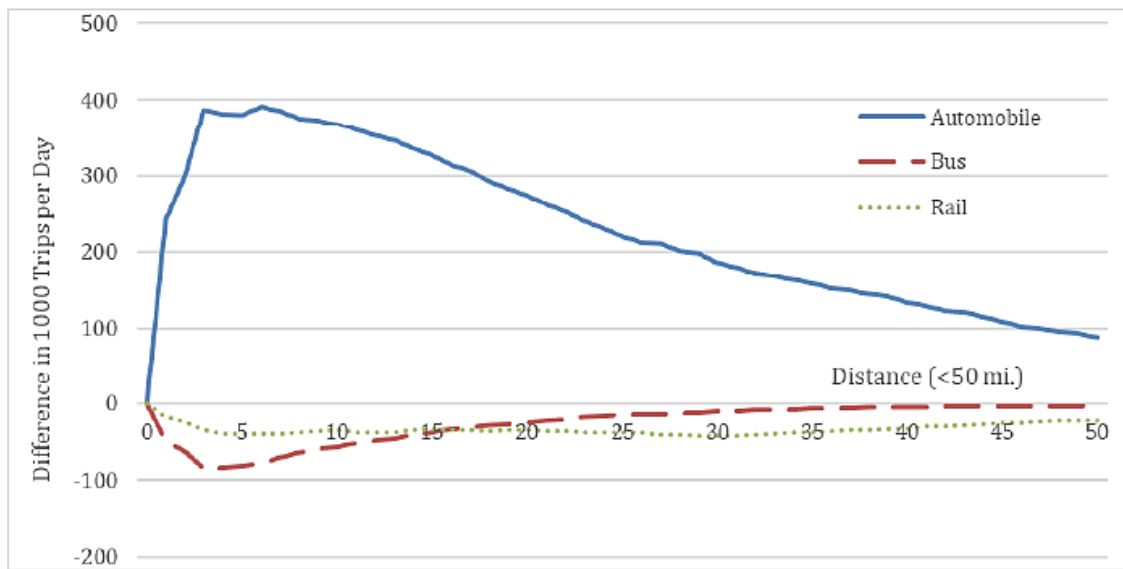


Figure 7 : Changements dans les modes de transport pour les déplacements de 50 miles et moins [45]

Un sondage réalisé auprès de 302 résidents allemands [46] a voulu recenser les effets de l'intégration des véhicules autonomes au système de transport routier, et ce, principalement pour les déplacements de moins de 50 kilomètres. C'est en questionnant les répondants sur leurs habitudes de déplacement actuelles ainsi que sur le mode de transport qu'ils prioriseraient dans le futur que les résultats ont pu être cumulés. Les choix de réponses offerts dans la première partie du questionnaire se limitaient à la voiture conventionnelle, à la voiture partagée et au transport en commun. La deuxième partie du questionnaire comprenait ces mêmes choix de réponses, auxquels s'étaient ajoutées la voiture autonome et la voiture autonome partagée. Les résultats démontrent des variations qui se font remarquer, notamment au niveau de l'augmentation du partage dans les transports (+ 5,7 %) et de la diminution de l'utilisation des transports en commun (- 5,8 %). La figure 8 démontre l'ampleur de ces changements en indiquant le pourcentage et le nombre d'effectifs de la population ayant opté pour chacune des options offertes.

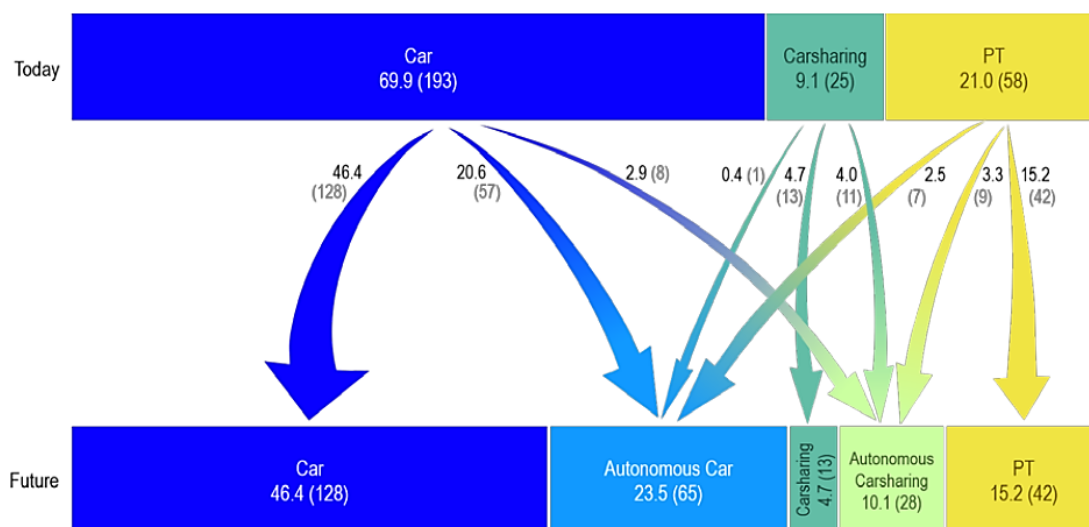


Figure 8 : Préférences des répondants allemands face aux nouveaux modes de déplacement [46]

Un sondage effectué aux Pays-Bas [47] a recueilli l'information de 663 répondants à propos de leurs préférences face à l'utilisation de trois différents moyens de transport dans des déplacements de moins de 60 kilomètres, soit la voiture conventionnelle, le transport en commun et la voiture autonome. Les résultats ont démontré que les préférences des usagers variaient en fonction des buts et des distances associées aux déplacements. Le sondage rapporte ainsi que l'utilisation du transport en commun est l'option la moins attrayante, principalement en ce qui concerne la durée du trajet. Inversement, l'utilisation de la voiture autonome est l'option la plus attrayante. Bien que l'étude souligne que la voiture autonome est l'option préférée pour les déplacements de plus longues durées, les auteurs témoignent qu'après l'analyse de tous les résultats obtenus, ils remarquent que les répondants auraient généralement tendance à répondre en fonction de leurs habitudes de déplacement. Leurs préférences iraient majoritairement en fonction des moyens de transport qu'ils utilisent et qu'ils connaissent. Ainsi, dans ce sondage, les habitués du transport en commun auraient transposé leurs habitudes dans plus de 70 % des réponses données. Les habitués de la voiture conventionnelle auraient eu tendance à favoriser l'utilisation de la voiture conventionnelle et finalement, ce seraient les utilisateurs réguliers de services de taxi qui seraient les plus susceptibles de favoriser l'utilisation des services fournis par la voiture autonome.

4.3 DÉPLACEMENTS DE LONGUES DISTANCES

En analysant un sondage portant sur les déplacements de l'État du Michigan, États-Unis, et en développant une simulation expérimentale sur les déplacements de longues distances, une étude [21] a démontré que si les véhicules autonomes pouvaient offrir des déplacements plus rapides et efficaces que les véhicules conventionnels, une augmentation des déplacements de longues distances en voiture serait à prévoir. C'est en observant les données relatives à plus 3,8 millions de ménages que l'étude a pu démontrer que pour les déplacements de 50 à 100 miles, c'est une réduction de près de 37 % de l'utilisation de la

voiture conventionnelle et de près de 35 % de l'utilisation de l'avion qui serait faite au profit de la voiture autonome. Pour les déplacements de 501 à 600 miles, c'est une réduction estimée de près de 22 % et 18,5 % pour l'utilisation de la voiture conventionnelle et de l'avion respectivement. Finalement, pour les déplacements de plus de 1000 miles, l'étude estime une réduction de près de 23 % pour les voitures conventionnelles et d'environ 10 % pour l'utilisation de l'avion, toujours au profit de la voiture autonome. Le tableau 4 illustre 11 différentes étendues de distances de déplacements ainsi que les réductions estimées d'utilisation de la voiture conventionnelle et de l'avion en faveur de l'utilisation des véhicules autonomes.

Tableau 4 : Changements dans les volumes de déplacement suite à l'introduction des véhicules autonomes [21]

Distance of LD Trip	Change in Trip Volume by...	
	Personal Vehicle	Airline
50 to 100 miles	-36.7%	-34.9%
101 to 200 miles	-34.4%	-33.4%
201 to 300 miles	-30.7%	-30.2%
301 to 400 miles	-28.0%	-26.5%
401 to 500 miles	-26.2%	-25.1%
501 to 600 miles	-21.9%	-18.5%
601 to 700 miles	-21.7%	-16.2%
701 to 800 miles	-24.2%	-19.9%
801 to 900 miles	-24.1%	-11.4%
901 to 1000 miles	-20.2%	-9.3%
1000 miles or more	-22.9%	-10.4%

La figure 9 tente plutôt d'illustrer le nombre de déplacements susceptibles de se produire lorsque les véhicules pleinement autonomes (niveau 5) seront accessibles. L'étude [21] distingue 2 graphiques, l'un qui présente les choix présentement offerts pour les déplacements de longues distances (haut), en l'occurrence la voiture conventionnelle et l'avion, et l'autre qui présente ces mêmes choix auxquels l'option du déplacement par véhicule autonome a été ajoutée. Cette figure démontre que l'intérêt des voyageurs de longues distances à délaisser la voiture conventionnelle ou l'avion au profit de la voiture autonome se ferait principalement ressentir lors des déplacements de moins de 300 miles, où plus de 30 % de l'utilisation de chacun des modes de transport mentionnés serait délaissé pour l'utilisation de la voiture autonome. La figure montre également que l'utilisation de la voiture autonome risque de représenter une proportion significative des déplacements jusqu'à 700 miles. Au-delà de ces distances, l'intérêt pour la voiture autonome deviendrait négligeable. Finalement, les projections démontrent que pour toutes les distances de plus de 200 miles, l'avion demeurerait quand même le moyen de transport le plus populaire.

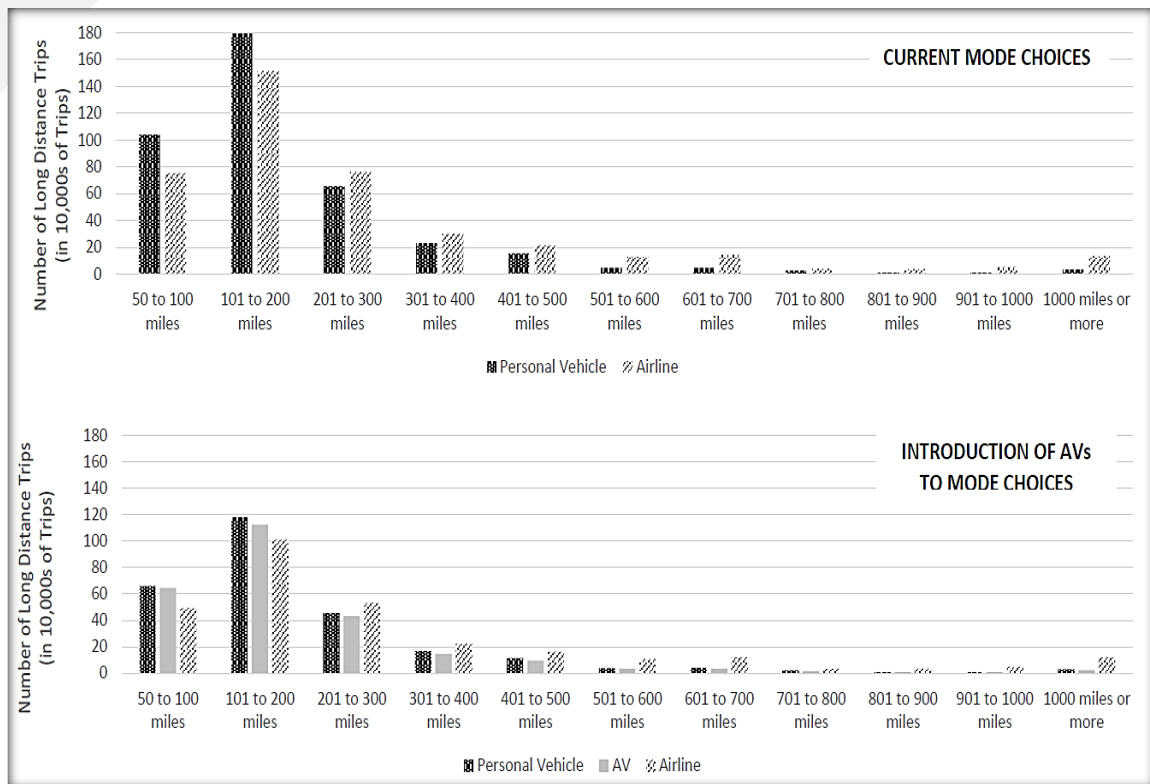


Figure 9 : Simulation des déplacements de longues distances avant et après l'introduction des véhicules autonomes [21]

L'étude réalisée sur le territoire du triangle du Texas (Houston, San Antonio, Austin, Dallas et Fort Worth), États-Unis [45], a également proposé un scénario de changement des habitudes liées aux modes de transport pour les déplacements de longues distances. La figure 10 démontre les résultats obtenus par la simulation projetée en 2040. Pour les déplacements allant de 50 miles à 150 miles, l'étude prévoit une diminution de l'utilisation de l'autobus et du train. Pour les déplacements allant de 50 miles à 250 miles, l'étude prévoit une hausse importante de l'utilisation de la voiture. Finalement, pour les déplacements allant de 100 miles à 300 miles, l'étude estime qu'il y aura une diminution drastique de l'utilisation des transports aériens. Ainsi, pour les déplacements de moins 300 miles, les diminutions combinées de l'utilisation de l'autobus, du train et de l'avion seraient substituées par une utilisation plus marquée de la voiture, essentiellement due à l'intégration des véhicules autonomes sur le marché. Selon ces informations, l'utilisation de la voiture autonome serait également le choix priorisé par les usagers des services de transport pour couvrir l'augmentation de 15 % des déplacements totaux estimée par l'étude.

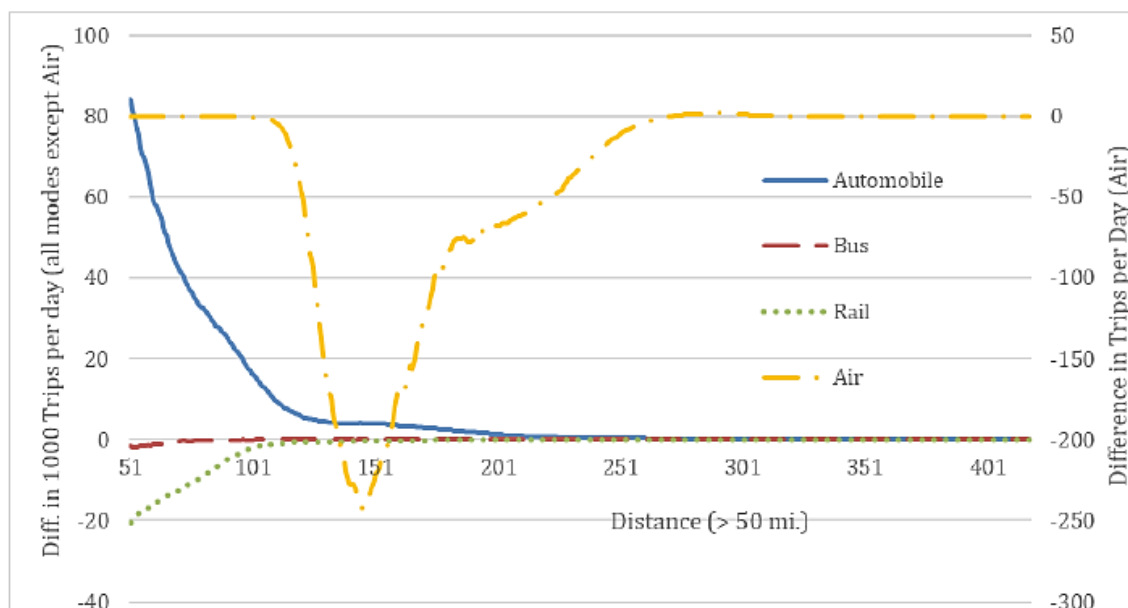


Figure 10 : Changements dans les modes de transport pour les déplacements de 50 miles à 400 miles [45]

Une étude effectuée sur le territoire des États-Unis [28] s’est basée sur le modèle *rJourney*, qui inclut près de 2,2 milliards de déplacements recensés en 2010, afin d’estimer l’ampleur des changements qui se feront ressentir dans le choix des modes de transport avec l’arrivée des véhicules autonomes. Ainsi, en simulant six différents scénarios dans un taux de pénétration de 51 %, à travers lesquels les coûts d’opération et la valeur d’économie de temps sont variables, l’étude a pu démontrer que pour les déplacements de moins de 500 miles, une variation positive moyenne de 105,4 % allait se faire ressentir dans l’utilisation des voitures tandis qu’une variation négative moyenne de 52,9 % allait se faire ressentir dans l’utilisation des transports aériens. Le tableau 5 démontre les données prélevées pour chacun des scénarios établis.

Tableau 5 : Variations dans les déplacements de moins de 500 miles avant et après l’intégration des véhicules autonomes [28]

Mode	Dist.	Scenario	A	B	C	D	E	F
Car+AV	Trips < 500 mi.	Before AV	253.5 M	253.5 M	253.5 M	253.5 M	253.5 M	253.5 M
		After AV	271.5 M	267.2 M	279.4 M	268.1 M	274.3 M	280.3 M
		% change	107.1%	105.4%	110.2%	105.7%	108.2%	110.6%
Air	Trips < 500 mi.	Before AV	2.30 M	2.30 M	2.30 M	2.30 M	2.30 M	2.30 M
		After AV	1.23 M	1.20 M	1.28 M	1.21 M	1.24 M	1.40 M
		% change	53.2%	52.1%	55.7%	52.3%	54.0%	60.9%

Cette même étude [28] a également proposé des scénarios qui concernent les déplacements de très longues distances, soit 500 miles et plus. Ces scénarios, établis en fonction d'un taux de pénétration de 51 % des véhicules autonomes ainsi que de coûts d'opération variables, ont démontré une variation positive moyenne de 112 % de l'utilisation de la voiture et une variation négative moyenne de 52,8 % de l'utilisation des transports aériens. Le tableau 6 illustre les données relevées par l'analyse de chacun des scénarios proposés par l'étude.

Tableau 6 : Variations dans les déplacements de 500 miles et plus avant et après l'intégration des véhicules [28]

Mode	Dist.	Scenario	A	B	C	D	E	F
Car+AV	Trips ≥ 500 mi.	Before AV	55.7 M	55.7 M	55.7 M	55.7 M	55.7 M	55.7 M
		After AV	63.4 M	65.7 M	57.8 M	65.3 M	61.7 M	46.7 M
		% change	113.8%	118.0%	103.7%	117.2%	110.7%	83.9%
Air	Trips ≥ 500 mi.	Before AV	18.11 M	18.11 M	18.11 M	18.11 M	18.11 M	18.11 M
		After AV	9.65 M	9.43 M	10.16 M	9.47 M	9.81 M	11.17 M
		% change	53.3%	52.1%	56.1%	52.3%	54.2%	61.7%

Des travaux réalisés auprès des résidents des États-Unis, de l'Allemagne et de la Chine [44] ont également relevé certaines préférences à l'égard des déplacements de longues distances de 50 à 500 kilomètres. Les résultats démontrent que lorsque les voitures autonomes de niveau 4 et 5 seront accessibles, une majorité d'utilisateurs préféreront les voitures autonomes aux autres modes de transport de longues distances tels que le train et l'avion.

4.4 INTERMODALITÉ

Le principe d'intermodalité consiste à devoir utiliser plusieurs modes de transport différents afin de se rendre à destination. Dans le cas de l'intégration des voitures autonomes sur le réseau des transports routiers, l'utilisation de l'intermodalité se ferait principalement dans un contexte d'offre de services sur demande. Bien que ce phénomène ait été brièvement discuté dans le rapport 2, le présent rapport abordera le phénomène en tant que principe de mobilité individuelle. Ainsi, il sera plutôt question des choix et des préférences de l'utilisateur et non du modèle d'affaire à adopter ou de l'impact sur les activités urbaines.

Une étude réalisée sur le territoire urbain de la ville de New York, États-Unis [48], a voulu comprendre l'interactivité des différents modes de transport dans un modèle AMoD (*Autonomous Mobility on Demand*) comprenant la voiture autonome. Dans ce modèle, des propositions multiples sont offertes à l'utilisateur en fonction du déplacement désiré. Ainsi, l'utilisation intermodale de la voiture autonome, du transport public, de la marche et d'autres modes de transport connexes sont utilisés en alternance afin d'effectuer le trajet désiré en respectant les contraintes (temporelles, monétaires ou autres) du voyageur. La figure 11 représente le concept d'intermodalité dans un système de services incluant la voiture autonome. Dans cette illustration, les points de couleur représentent les intersections et les points d'embarquement et de

débarquement des différents modes de transport. Les flèches noires représentent les principaux liens desservis par ces mêmes modes de transport. Les flèches grises représentent les points de commutation et de changement d'un mode de transport à un autre et les flèches grises pointillées représentent des ensembles géographiques fermés qui ne sont pas reliés par les différents modes de transport. L'idée derrière ce modèle de transport est de combiner les différents modes afin d'offrir le trajet optimal qui tiendra compte des particularités et des besoins de chacun. Les transports publics serviraient donc principalement aux déplacements de plus longues distances, les voitures autonomes serviraient aux premiers et derniers kilomètres tandis que la marche servirait aux très courtes distances séparant les points d'embarquement et de débarquement.

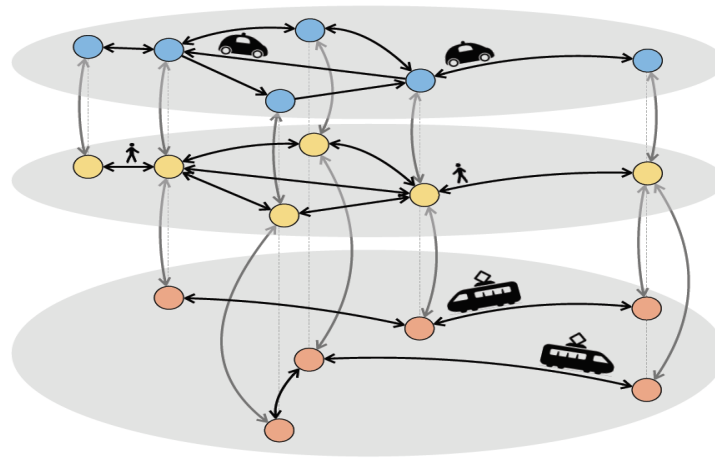


Figure 11 : Système de transport intermodal AMoD [48]

Une étude réalisée dans la région de Stuttgart, Allemagne [49], a voulu comprendre et quantifier les changements susceptibles de se produire lorsque les centres urbains utiliseront des systèmes de mobilité autonome sur demande (AMoD) comprenant des véhicules autonomes. C'est en présumant la mise en place d'un système de services intermodaux, où l'utilisation des voitures privées n'est pas considérée, que l'étude a pu être réalisée. Ainsi, les résultats ont pu démontrer que la mise en place de tels services allait provoquer une diminution d'environ 45 % des déplacements totaux des véhicules ainsi qu'une diminution de près de 20 % du nombre de kilomètres parcourus par la flotte automobile. Cette étude estime également que dans un système AMoD, le nombre de voitures nécessaires aux déplacements de tous les résidents de la région serait équivalent à environ 15 % du nombre de voitures privées actuellement recensées sur le territoire. Cela représenterait donc une diminution approximative de 85 % du nombre de voitures en circulation. De plus, la mise en place d'un système de services de mobilité incluant les voitures autonomes provoquerait une hausse de l'utilisation des transports publics, de la marche et du vélo. La figure 12 démontre les résultats obtenus par l'étude. Le graphique illustre une augmentation des modes de transport public et actif avec une utilisation partagée de véhicules autonomes dans un système de mobilité autonome sur demande.

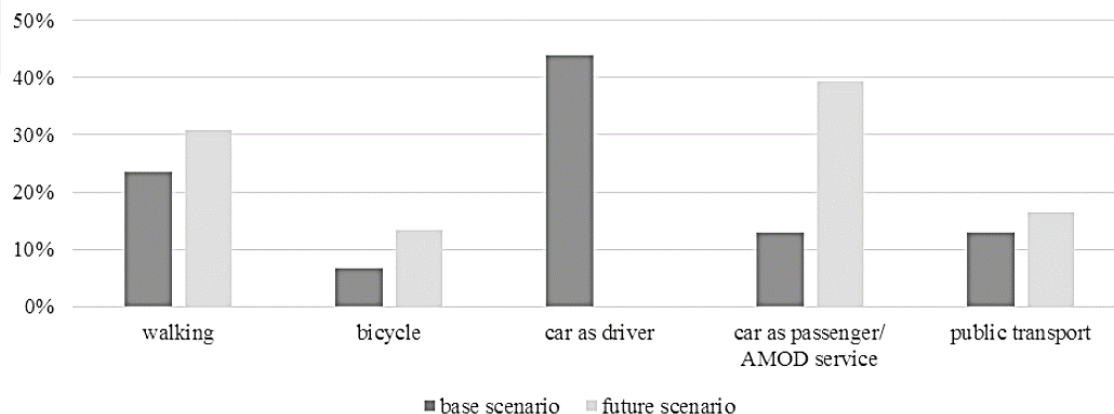


Figure 12 : Transfert modal estimé dans un système AMoD [49]

4.5 CONCLUSION

En ce qui a trait aux déplacements urbains, les principales tendances dégagées par la littérature seraient un transfert modal vers l'utilisation de la voiture autonome d'environ 10 % au détriment de l'utilisation des modes de transport en commun, de la marche et du vélo [31, 44]. Une augmentation de l'utilisation de la voiture autonome est projetée pour les déplacements périurbains de moins de 50 miles, particulièrement dans les distances de moins de 20 miles, où il y aurait également un transfert modal similaire à celui des déplacements urbains [39, 45, 46, 47]. Par ailleurs, l'utilisation des voitures privées subirait une diminution contrairement à l'utilisation des services de partage, qui gagnerait des adeptes et des parts du marché des transports routiers.

Pour ce qui est des déplacements de longues distances, les études consultées prévoient également une diminution de l'utilisation des transports en commun et de la voiture conventionnelle au profit de l'augmentation de l'utilisation des voitures autonomes [9, 28, 44, 45, 47]. Les projections prévoient également une diminution du nombre de transports de moins de 500 kilomètres faits par avion, toujours au profit de l'utilisation de la voiture autonome. C'est principalement en tenant compte de la valeur d'économie de temps dans les transports, des coûts reliés aux opérations et du confort privé offert par les voitures autonomes que ces pronostics ont pu être établis.

Finalement, l'apparition de systèmes de mobilité autonome sur demande (AMoD) risque de provoquer plusieurs changements dans l'utilisation des différents modes de transport [48, 49]. Les possibilités intermodales des déplacements devraient stimuler l'utilisation des modes de transport partagés et actifs plutôt que l'utilisation de la voiture privée.

Le tableau qui suit reprend l'essentiel des informations émises dans la section 4 en relevant les enjeux, les défis, les menaces et les opportunités reliés aux modes de transport et au transfert modal avec l'utilisation des véhicules autonomes. De plus, ce même tableau relève les principales tendances soulevées par la section.

Tableau 7 : Sommaire de la section 4

	Enjeux	Défis	Menaces	Opportunités
Modes de transport et transfert modal	• Changements potentiels dans les modes de transport en milieu urbain, périurbain, et longue distance • Transferts modaux potentiels	• Transfert modal des transports en commun vers la voiture autonome en milieu urbain et périurbain • Transfert modal des transports actifs en milieu urbain	• Diminution des parts du marché des transports publics • Diminution de l'utilisation du transport en commun et du transport actif	• Intégrer la voiture autonome partagée dans une offre de services intermodaux • Réduire le nombre de voitures en circulation • Favoriser le transport actif
	Principales tendances			
	• Diminution de l'utilisation des modes de transport suivants : marche, vélo, transports en commun et avion • Augmentation de l'utilisation de la voiture autonome particulièrement en mode urbain et périurbain • Progression d'une utilisation privée vers un système de partage • Un système de mobilité autonome partagée sur demande favorise une utilisation des modes de transport public et actif			

5. COHABITATION DU TRANSPORT PUBLIC ET PRIVÉ

5.1 MENACES AUX TRANSPORTS PUBLICS

Le chapitre précédent présentait la synthèse des travaux par rapport aux changements projetés dans les modes de transport incluant les transferts modaux et leur impact sur l'utilisation des transports en commun. La présente sous-section traitera des impacts et répercussions de la possession privée des voitures autonomes.

Des travaux réalisés sur le territoire des États-Unis et de l'Allemagne [50] ont étudié quels seraient les impacts de l'introduction des véhicules autonomes privés de niveau 4 et 5 sur le transport en commun urbain. Les résultats ont démontré que l'apparition des voitures autonomes privées allait provoquer une hausse de l'utilisation de la voiture pour tous les déplacements de moins de 65 kilomètres. Inversement, pour ces mêmes distances de déplacement, l'utilisation des services de transport en commun allait subir une diminution. La figure 13 illustre la projection de la situation en Allemagne et aux États-Unis en fonction de deux scénarios distinctifs, l'un suivant la tendance actuelle, mais projetée en 2035 (*trend scenario*) et l'autre simulant un accroissement du facteur de développement de la technologie, avec une grande pénétration des véhicules autonomes (*extreme scenario*). En cumulant les données représentées dans la figure 13, les résultats démontrent une augmentation relative de 2,1 % et de 8,2 % de l'utilisation de la voiture en Allemagne pour le *trend scenario* et l'*extreme scenario* respectivement. Pour l'utilisation des transports publics, c'est plutôt une décroissance de -2,8 % et -10,6 % qui est estimée. Les projections des États-Unis démontrent une croissance de 2,0 % et 5,7 % de l'utilisation de la voiture pour le *trend scenario* et l'*extreme scenario* respectivement tandis que l'utilisation des transports publics est estimée à la baisse de -6,3 % et -17,6 %.

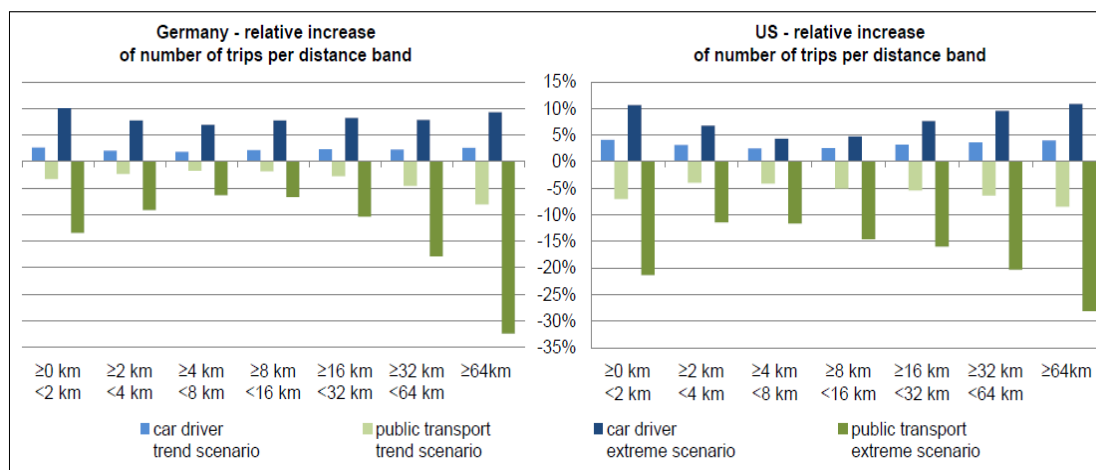


Figure 13 : Variation du nombre d'utilisateurs de la voiture privée et du transport public [50]

Une étude effectuée à l'Université du Texas [51] s'est penchée sur l'analyse d'un modèle de repositionnement des véhicules autonomes privés dans le but de proposer des stratégies d'évitement des coûts associés au stationnement des voitures. C'est en appliquant le modèle sur les particularités du réseau routier du centre-ville d'Austin, Texas, États-Unis, et en utilisant les données provenant du *Capital Area Metropolitan Planning Organization* que l'étude a été complétée. Les résultats démontrent qu'en raison de la diminution considérable des coûts associés à l'utilisation du transport privé et de l'augmentation de la valeur d'économie de temps, le nombre d'usagers des transports en commun devrait tendre à diminuer alors que le nombre de déplacements effectués par véhicules privés devrait quant à lui augmenter. Selon cette étude, l'utilisation accentuée des voitures autonomes privées mènerait à un changement radical dans l'équilibre de la circulation routière et provoquerait une hausse considérable du temps passé dans les transports privés. Ainsi, au terme de cette transition, projetée en 2050 selon l'étude, les villes qui seraient encore desservies par un système de transport en commun rapide et efficace pourraient observer une recrudescence de leur utilisation en raison de l'augmentation des temps de déplacement des véhicules personnels. De plus, la congestion amenée par l'utilisation des voitures privées provoquerait inévitablement une plus grande consommation énergétique lors des déplacements et donc, une hausse globale du coût d'utilisation de la voiture privée. Cette situation pourrait également inciter certains voyageurs à reconsidérer l'utilisation des services de transport en commun à partir de 2050.

La cohabitation des véhicules autonomes privés et des systèmes de transports en commun demeure risquée et soulève plusieurs questionnements. De toute évidence, les modes de transport en commun sont viables économiquement seulement s'il y a un certain niveau de demande pour ce genre de transport. Advenant le cas où la demande diminuerait en raison d'un meilleur confort, d'une plus grande rapidité et d'un coût amoindri avec l'utilisation des véhicules autonomes, les systèmes de transports en commun auraient peine à subsister [25]. Selon les multiples scénarios étudiés sur le territoire de la Suisse [5], il serait effectivement possible que dans les plus petites municipalités, les véhicules autonomes puissent subvenir à l'ensemble des besoins en matière de transport des citoyens. Toutefois, le constat est bien différent pour les plus grandes municipalités et les grands centres urbains. Il est projeté que les systèmes de transports en commun demeureraient actifs dans les grandes villes, là où la demande de transport est affectée par les limites du réseau routier [52]. Les usagers pourraient donc bénéficier d'un système de transport en commun efficace et économique pour leur mobilité de longues distances et parallèlement, profiter d'un système de déploiement de véhicules autonomes partagés ou de type taxi pour leur mobilité de courtes distances [2]. À cet égard, le transport en commun tiendrait un rôle déterminant dans l'efficacité générale du système de transport urbain. À l'inverse, les plus petites municipalités qui n'arriveraient pas à maintenir une demande suffisamment élevée risqueraient de devoir se départir de leur système de transport en commun puisque ce dernier ne serait plus en mesure de rivaliser avec les avantages fournis par l'utilisation des véhicules autonomes [5, 25].

5.2 POSSIBLE COHABITATION

Les analyses effectuées par *McKinsey&Compagny* [3] estiment que la cohabitation du transport privé et du transport public sera principalement attribuable aux futures habitudes de mobilité des usagers du réseau routier. Selon cette étude, il y aurait une corrélation directe entre le partage des voitures et l'utilisation des transports publics. On y mentionne que les personnes qui utilisent les services de partage de véhicules

seraient 40 % plus susceptibles de se déplacer par mode de transport public que les personnes qui ne partagent pas de véhicule. Autrement dit, plus les personnes utiliseraient les services de partage de véhicules, plus elles utiliseraient les transports en commun. Ainsi, les auteurs estiment qu'en misant sur le développement de services de partage de véhicules autonomes, les municipalités concernées contribueraient également au maintien d'un réseau de transports publics.

Un projet mené dans la région de Nagoya au Japon [35] a été en mesure de valider la possible cohabitation d'un système de transport privé avec le système de transport en commun. C'est en étudiant trois groupes d'utilisateurs : 1- les utilisateurs de voitures autonomes entre leur point d'origine et la station de transport en commun ; 2- les utilisateurs de voitures autonomes entre la station de transport en commun et leur point d'arrivée ; 3- les utilisateurs de voitures autonomes ayant une mobilité urbaine réduite, que l'étude a pu être réalisée. À la suite de l'analyse des résultats, les chercheurs ont été surpris par la complémentarité du partage des véhicules autonomes par les trois groupes. Le matin, le premier groupe agissait comme fournisseur des véhicules puisqu'il assurait l'acheminement des voitures au point d'intérêt central : la station de transport en commun. Par la suite, les véhicules déployés se répartissaient efficacement de façon à desservir le deuxième et le troisième groupe. À la fin de la journée, les usagers du premier groupe regagnaient chacun un véhicule à la station de transport en commun afin de terminer leur parcours jusqu'à leur domicile. Une fois rendus, ils stationnaient et rechargeaient le véhicule autonome en attente du lendemain matin. Selon cette étude, la cohabitation du transport public et du transport autonome partagé est réellement efficace et bénéfique pendant les périodes de fort achalandage. Par exemple, la station de métro et la gare de train sélectionnée par les chercheurs devaient assurer une redistribution rapide des usagers, particulièrement entre 6h et 9h ainsi qu'entre 16h et 20h. La figure 14 représente le nombre d'accompagnements faits par les véhicules autonomes pendant une journée portée à l'étude. Les lignes pleines représentent les accompagnements faits afin de se rendre aux stations de transport public sélectionnées et les lignes pointillées, les accompagnements faits à la sortie de ces mêmes stations. On remarque ainsi que pendant les périodes d'achalandage, une flotte importante de véhicules est nécessaire afin d'assurer la fluidité des transports [35, 53]. Cependant, dès que les périodes de pointe sont passées, la flotte peut être grandement réduite et assurer tout de même un service d'accompagnement efficace.

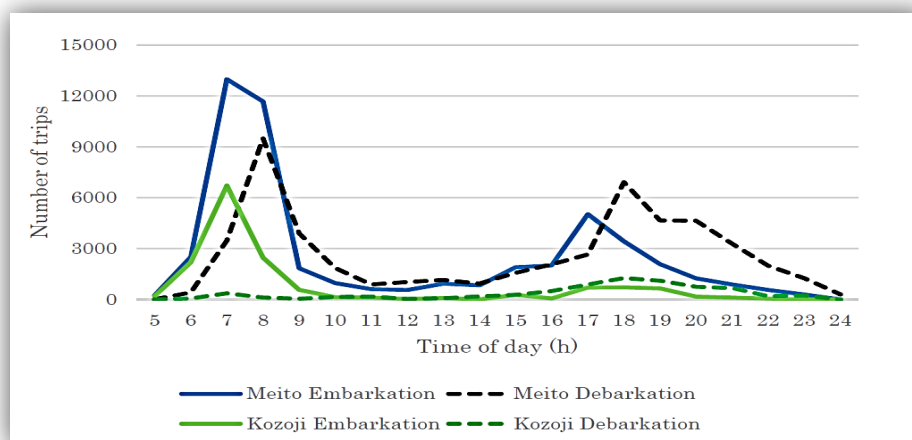


Figure 14 : Nombre de déplacements faits par véhicules autonomes pendant une journée dans la ville de Nagoya, Japon [35]

Des simulations effectuées sur le territoire de Singapour [54] proposent également de miser sur l'offre de services de partage de véhicules autonomes afin de stimuler la demande envers le système de transport public urbain. C'est en observant les données relatives à la circulation réelle aux heures de pointe de la métropole et en les comparant aux simulations impliquant le déploiement de services de voitures autonomes sur demande que les constats ont été réalisés. Les résultats de l'étude démontrent qu'avec un bon service de voitures autonomes sur demande, une majorité de personnes serait plus intéressée à utiliser les transports en commun puisqu'elle pourrait facilement faire appel aux voitures autonomes pour les déplacements des premiers ou derniers kilomètres. Ainsi, les systèmes de transports en commun pourraient servir aux déplacements des personnes pour les plus longues distances et les services de voitures autonomes pour les déplacements de courtes distances, reliant ainsi les points de transit des transports publics et toutes autres destinations urbaines.

Divers scénarios d'utilisation des véhicules autonomes [9, 37, 55] soulèvent le principe d'intermodalité des derniers kilomètres (*last-mile intermodality*). Dans ce principe, les personnes utiliseraient divers modes de transport pendant leurs déplacements. Les modes de transport en commun à grande échelle (trains, métros, autobus, etc.) seraient les piliers du transport des grands centres urbains et assureraient le déplacement des personnes sur les plus longues distances [2, 6, 56]. En permettant l'embarquement et le débarquement des usagers à des points fixes et bien définis, ces modes de transports en commun arriveraient à parcourir de longues distances en peu de temps. Une fois arrivés au lieu de débarquement, les utilisateurs pourraient avoir recours à un système de véhicules autonomes sur demande afin de gagner leur destination rapidement, simplement et dans un confort similaire à celui offert par un véhicule privé.

Selon une étude multicritère réalisée dans la ville de Poznań, Pologne [57], l'ajout des véhicules autonomes au système de transport des municipalités devrait se faire en suivant le principe du transport public à la demande (*PTOD : Public Transportation On Demand*). Le transport public à la demande est un type spécifique de transport en commun que l'on nomme également transport en commun flexible. Ce nom est associé à un principe fondamental qui consiste à faire une répartition flexible de la demande de services de transport en fonction de la disponibilité et de la capacité des véhicules sur le réseau routier. Cette procédure n'est évidemment pas possible avec la plupart des systèmes de transport en commun actuels. Cependant, elle pourrait le devenir avec l'utilisation des technologies associées à la conduite autonome. Le tableau 8 met en évidence les principales caractéristiques du transport en commun actuel et celles du transport public à la demande, convoité par l'utilisation des véhicules autonomes. On remarque que les principales différences se trouvent au niveau de la capacité, de la disponibilité et de l'adaptabilité des transports. Cette même étude [57] estime que la combinaison d'un système de transport public performant et de véhicules autonomes sur demande serait l'une des options les plus avantageuses afin de répondre aux critères ayant le plus d'importance pour les usagers du transport routier: 1- temps de déplacement; 2- coûts de déplacement; 3- confort; 4- ponctualité du service; 5- disponibilité du service; 6- fiabilité du service; 7- convivialité environnementale; 8- sécurité.

Tableau 8 : Caractéristiques du transport en commun et du transport public à la demande [57]

Transport en commun	Transport public à la demande (PTOD)
• Transfert massif de passagers avec utilisation de véhicules à grande efficacité et grande capacité	• Utilisation de flottes hétérogènes de véhicules, de différentes tailles et capacités
• Disponibilité généralisée, garantie à toutes les personnes ayant le droit d'utiliser les transports publics	• Répartition des véhicules en fonction de la demande et des besoins
• Organisation en fonction d'itinéraires fixes et prédéfinis	• Organisation en fonction d'itinéraires flexibles, adaptés à la demande
• Organisation en fonction d'horaires fixes, d'intervalles et d'arrêts prédéfinis	• Remplacement des arrêts réguliers par des changements dynamiques des points de départ

Plusieurs auteurs estiment que la mobilité d'une ville qui ne miserait que sur l'apport des véhicules autonomes privés, sans aucun autre système de transport complémentaire, ne serait pas viable à long terme [1, 9, 10, 57]. En revanche, l'intégration de véhicules autonomes partagés dans un système de transport public bien réfléchi pourrait contribuer à l'amélioration de l'efficacité des opérations de mobilité en zones métropolitaines [57]. C'est essentiellement en offrant de nouveaux types de services de mobilité, basés sur la transmission de données en temps réel et l'utilisation multimodale des moyens de transport, incluant les véhicules autonomes, que pourrait s'effectuer cette amélioration [58]. Cela fait partie de ce qu'on appelle un système de transport intelligent. De cette façon, l'attrait du transport privé pourrait être surpassé par l'efficacité du fonctionnement complémentaire de cette nouvelle forme de mobilité publique.

Une revue de littérature effectuée en Finlande [58] a analysé et cumulé les informations relatives à 31 documents scientifiques portant sur le concept de services de mobilité. À travers ces nombreuses informations, l'étude a relevé l'importance du rôle des services de transport en commun dans la mise en place d'un système de services de mobilité efficace. Selon cette approche, la multiplicité et la complémentarité des différents modes de transport seraient essentielles au fonctionnement du système de transports urbains. Ainsi, ce serait la combinaison de l'utilisation du transport en commun, du partage des voitures, de l'utilisation du taxi et du transport actif qui permettrait d'offrir de nombreuses alternatives pour un même déplacement. De cette façon, les services offerts pourraient répondre aux besoins d'une clientèle variée. Cette même étude précise que des services de mobilité sur demande sont actuellement en fonction dans plusieurs centres urbains, et ce, sans l'utilisation de voitures autonomes. Toutefois, l'arrivée future des voitures autonomes dans les paysages urbains viendrait propulser l'offre de tels services et permettrait d'en augmenter considérablement le nombre d'utilisateurs.

5.3 COMPAGNIES PRIVÉES

L'offre de services de mobilité autonome est présentement dominée par des compagnies privées telles que *Uber*, *Lyft*, *Didi*, *Navya*, *Waymo*, etc. Cela s'explique notamment par le fait que les investissements en recherches, technologies et essais terrain sont actuellement très élevés [59]. De fait, plusieurs instances publiques demeurent jusqu'à ce jour perplexes quant à la viabilité économique de ce genre de projets. Pourtant, les compagnies privées perçoivent le domaine comme une réelle opportunité d'investissement. Elles estiment que les véhicules autonomes représentent l'avenir des déplacements individuels et collectifs et qu'ils devraient générer d'énormes revenus à long terme. L'ascension des compagnies privées est déjà commencée. À titre d'exemple, la compagnie *Uber* détient désormais une évaluation financière supérieure à celle de plusieurs producteurs automobiles tels que Ford et de GM [13].

Pour certains auteurs [59], l'introduction des voitures autonomes sur le marché serait l'élément qui permettrait aux entreprises privées comme *Uber* et *Lyft* d'atteindre une rentabilité constante. En supprimant les principales dépenses reliées à la main-d'œuvre, ces compagnies estiment pouvoir économiser plus de 50 % de leurs coûts d'exploitation. Conséquemment, si les coûts d'exploitation arrivaient à diminuer autant, les coûts des services seraient également en mesure de diminuer et ainsi provoquer une hausse de la demande et de l'utilisation des services de partage. Les commodités offertes par la possession privée des voitures deviendraient alors dépassées par le faible coût d'utilisation des services de partage. La figure 15 représente les pourcentages associés aux coûts d'utilisation de différents types de véhicules. On remarque que les coûts sont très variables d'un type de véhicule à l'autre. En comparant les véhicules de type taxi conventionnel et les taxis autonomes, on constate que les coûts d'opération attribuables aux salaires pourraient diminuer jusqu'à 88 % avec l'arrivée des véhicules autonomes. Cette diminution pourrait représenter un net avantage pour la rentabilité des entreprises privées œuvrant dans le domaine de la mobilité autonome.

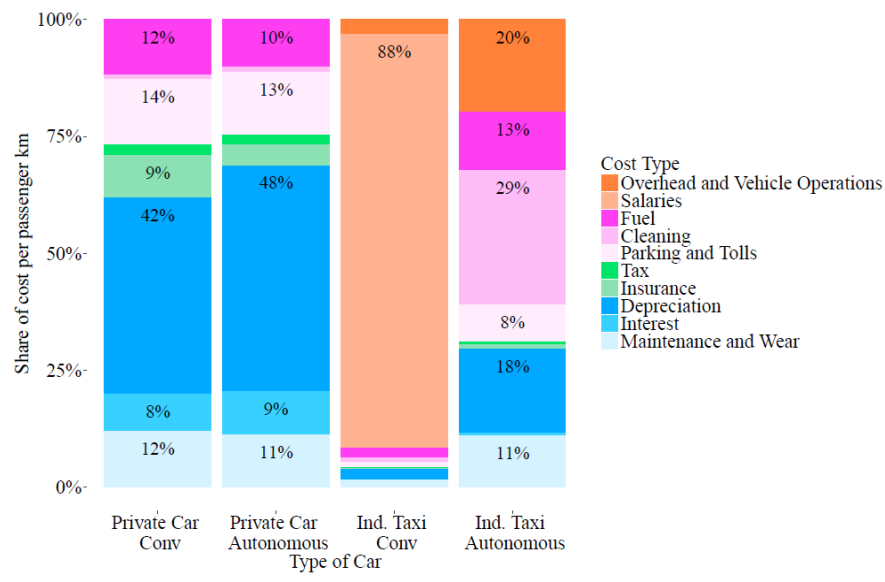


Figure 15 : Comparaison des coûts à l'utilisation de différents types de véhicule [52]

L'arrivée des services de mobilité autonome et partagée pourrait également donner l'occasion aux entreprises privées de vendre du contenu, du divertissement et même des articles de toute sorte par le biais du commerce en ligne, de la livraison et des points de collectes fixes établis sur le territoire [8]. Puisque les usagers des services de mobilité seraient exemptés de la conduite automobile, ils seraient désormais disposés à consulter diverses informations qui feraient partie de leur environnement physique et numérique. Certains spécialistes prévoient ainsi une multiplication des offres publicitaires qui seraient ciblées en fonction des passagers des véhicules [13]. Cela permettrait aux compagnies d'exploitation de générer des revenus supplémentaires relativement aux services actuellement offerts, qui sont généralement limités en termes de sollicitation.

La plupart des compagnies privées de mobilité autonome prônent la nécessité de créer des partenariats [60]. À travers leur mission, ils évoquent souvent les bénéfices de s'affilier à différentes autres compagnies privées (ex : fabricants automobiles, fournisseurs de technologies, agences marketing, etc.) afin de stimuler le progrès et les avancements du domaine de l'automatisation des véhicules. On assiste alors à une dominance du domaine privé dans la création et la mise en place de techniques, de véhicules et de plateformes numériques qui seront porteurs de la mobilité de demain. Toutefois, puisque les compagnies ont besoin de l'accord des décideurs politiques afin d'opérer les projets sur les territoires convoités, les partenariats avec les instances publiques commencent tranquillement à s'implanter dans certains modèles d'affaires. Les partenariats public-privé seront abordés en section 5.4 du rapport.

À plus long terme, la hausse de la mobilité de partage, supportée par l'avènement des voitures autonomes, soulèvera sans doute divers questionnements à l'égard du rôle de chacun des acteurs des services de transport [61]. Advenant le cas où d'ici 2040-2050, la majorité des déplacements s'effectueraient par une offre de services de véhicules partagés et desservis par des compagnies privées, à qui reviendrait la facture pour l'entretien et la création des infrastructures? Qui serait responsable de la coordination de l'intermodalité requise des différents modes de transport? Qui serait responsable de l'installation des bornes, stations ou voies de recharge? Qu'advviendrait-il des stationnements municipaux? Etc. Voilà pourquoi il est primordial que les secteurs publics et privés soient consultés dans les différentes étapes de mise en place de cette nouvelle mobilité autonome [59].

5.4 PARTENARIATS PUBLIC-PRIVÉ

De plus en plus de partenariats public-privé (PPP) voient le jour afin de faciliter la transition vers la nouvelle mobilité autonome. Différents acteurs sont impliqués dans les projets et tentent à la fois de combiner des visions complémentaires de développement et de diminuer les coûts et les risques financiers associés aux projets. Le *Minnesota Council on Transportation Access* [62] regroupe ces partenariats en trois catégories distinctes; 1- Partenariats pour les transports des premiers et derniers kilomètres, 2- Partenariats pour le transport en commun, 3- Partenariats pour le transport adapté. La première catégorie permet de répondre aux besoins des personnes qui ont le désir d'utiliser les transports en commun, mais qui sont confrontées à devoir se déplacer en voiture, à la marche ou en vélo afin de se rendre au point de transit des modes de transport public. Dans ces situations, les trajets des premiers et derniers kilomètres peuvent devenir des obstacles dans les déplacements individuels et même freiner l'utilisation des transports en commun. Un partenariat public-privé, incluant les technologies relatives aux véhicules autonomes, permettrait au

système public de maintenir le contrôle du transport en commun et aux compagnies privées d'organiser les déplacements de courtes distances des premiers et derniers kilomètres. La deuxième catégorie permet de modifier l'offre de services des transports en commun dans le but réserver certaines zones géographiques spécifiques aux transporteurs privés qui utilisent les véhicules autonomes. Ainsi, cela pourrait s'organiser avec la création de nouvelles zones de développement urbain ou industriel, mais également avec la suppression de certains itinéraires ou lignes de transport en commun dans des zones à plus faible densité ou fréquentation. La troisième catégorie permet aux personnes avec des besoins de mobilité spécifiques d'obtenir des services mieux adaptés et moins coûteux. Le transport adapté traditionnel implique généralement des investissements majeurs, des flottes conformes et adaptées, une réservation de la part des clients et une durée prolongée des déplacements en raison du partage des véhicules. Un partenariat de mobilité autonome avec un fournisseur privé pourrait faciliter l'organisation des transports adaptés et en diminuer les coûts, tout en offrant un service plus adapté aux besoins des utilisateurs. Certes, certains autres types de partenariats pourraient s'effectuer en raison de besoins et d'opportunités spécifiques. Cela pourrait notamment s'appliquer dans une optique de diversification de l'offre de services, d'efficacité du transport pendant les heures de pointe ou encore d'efficacité des services d'urgence.

À titre d'exemple, le CCTA (*Contra Costa Transportation Authority*), un organisme public californien qui travaille au développement stratégique du réseau des transports aux États-Unis a récemment établi un partenariat avec des fournisseurs privés [63]. C'est dans le but de répondre aux besoins des citoyens et de leur désir d'utiliser les modes de transport en commun comme mode de déplacement principal que le partenariat a pu voir le jour. En fait, les citoyens déploraient le manque de services offerts sur les premiers et derniers kilomètres des routes les plus achalandées. Or, depuis le mois de mars 2018, le Département des Transports des États-Unis, le CCTA et les fournisseurs de transport privés, dont *County Connection* et *Bay Area Rapid Transit*, travaillent conjointement à la mise en place de services de mobilité autonome sur demande afin d'assurer la connexion entre les points d'embarquement et de débarquement des transports en commun et les principales destinations des utilisateurs.

Un second partenariat a récemment été établi dans la ville de Frisco au Texas, États-Unis [63]. Au mois de mai 2018, le DCTA (*Denton County Transportation Authority*), la compagnie Drive.ai, spécialisée dans les voitures autonomes, et la municipalité de Frisco ont décidé de s'unir afin de renforcer les connexions entre les principaux points d'achalandage de la ville. Ainsi, un service de transport par véhicules autonomes a été développé afin d'offrir des déplacements aux citoyens et travailleurs des zones spécifiquement cartographiées. La finalité derrière ce partenariat était essentiellement d'améliorer l'efficacité opérationnelle des transports, de fournir de meilleures solutions de mobilité sur demande et d'offrir un plus grand nombre de possibilités de déplacements pour les citoyens.

Des partenariats public-privé ont été mis sur pied dans la ville de Gainesville en Floride et dans la région du *Massachusetts Bay*, États-Unis [62], dans le but d'offrir des services de transport autonome adapté sur demande. Au départ, ces collaborations entre les municipalités et les compagnies privées *Uber* et *Lyft* se limitaient à des projets pilotes de courtes durées et avec de nombreuses restrictions géographiques. Désormais, le programme de Gainesville est accessible partout sur le territoire de la ville et inclut un volet spécifiquement adapté aux personnes âgées. Bien que le montant maximal à déboursier pour un déplacement soit de 5 \$, le prix moyen pour un déplacement se quantifie à moins de 1 \$, ce qui est beaucoup moins élevé que l'utilisation des services de transports adaptés conventionnels. Le projet du *Massachusetts Bay Transportation Authority* (MBTA), où les utilisateurs n'ont qu'à déboursier un montant

de 2 \$ pour avoir accès au transport (la balance étant couverte par le programme de transport), a également démontré les bénéfices de la création d'un partenariat public-privé dans les services de transport autonome. La figure 16 illustre la croissance du nombre de déplacements et la diminution des coûts globaux des services offerts par le partenariat MBTA-Uber-Lyft. L'analyse des résultats démontre une diminution de 80 % des coûts chargés aux utilisateurs, une diminution de 6 % des coûts totaux associés aux services et une augmentation de 28 % des déplacements adaptés effectués.

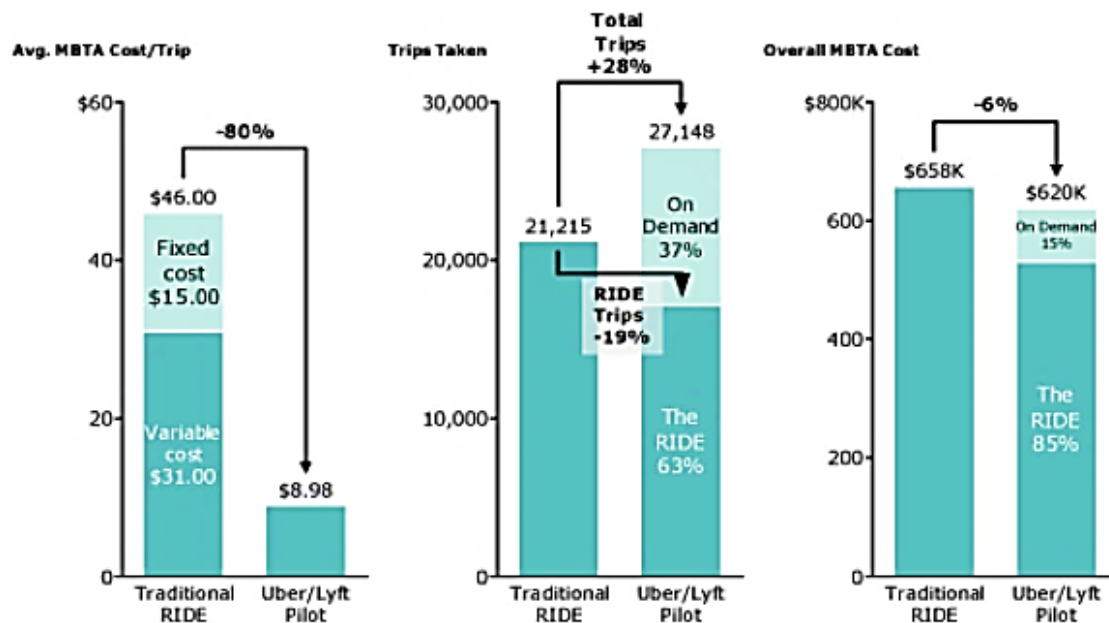


Figure 16 : Projet MBTA – évolution du nombre de déplacements, des coûts d'utilisation et d'opération [62]

En ce moment, plus de la moitié des 10 compagnies les plus fortunées des États-Unis sont reliées au domaine des véhicules autonomes, soit par la recherche et la conception, la fabrication ou encore la production de carburant/énergie nécessaire au fonctionnement des véhicules. Compte tenu de la solidité financière de ces compagnies, des développements technologiques sans précédent et des investissements financiers de sociétés telles que Google et Uber, l'intérêt des compagnies privées pour la mise en marché des véhicules autonomes est en constante progression [64]. Parallèlement, le gouvernement fédéral canadien, tout comme plusieurs autres gouvernements étrangers, a récemment libéré des sommes considérables afin de soutenir le développement des technologies de transport [65]. Différents autres paliers gouvernementaux se sont également joints au mouvement et ont contribué au support financier et technique du domaine des transports autonomes. Ainsi, puisque la volonté des secteurs publics et privés est bel et bien présente, la création de partenariats serait certainement l'option la plus profitable pour chacun des partis intéressés, incluant les usagers du système de transport [62].

Des travaux présentés au *EU-US Symposium on Automated Vehicles* à Washington, États-Unis [61], ont souligné plusieurs éléments à prendre en compte dans un contexte de partenariat public-privé dans le

domaine des transports autonomes. Tout d'abord, les travaux mettent l'accent sur la définition et la clarification des rôles de chacun des acteurs concernés en précisant que lorsque les coûts et les avantages sont répartis équitablement entre chacun d'eux, les progrès peuvent s'effectuer rapidement et sans contestation. Par contre, lorsqu'il existe un déséquilibre entre les acteurs qui déboursent et ceux qui reçoivent les fonds monétaires, cela peut rapidement devenir problématique. De plus, l'étude soulève qu'au-delà de la technologie de création et de la possession des véhicules autonomes, certains éléments nécessaires au déploiement des véhicules autonomes pourraient faire l'objet de partenariats public-privé : l'infrastructure numérique (cartes numériques, bases de données, informations dynamiques, systèmes de paiement, etc.); les systèmes de communications (V2I, V2V, V2X, etc.); les infrastructures routières (marquage, éclairage, signalisation, etc.); les infrastructures civiles (voies séparées, éléments de protection, etc.); la gestion des actifs reliés au réseau de transport, etc. 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. Ils auraient même le potentiel d'opérer de profonds changements dans le domaine, à condition de définir proprement le rôle de chacun des acteurs qui y prend part.

5.5 TRANSFORMATION DES TRANSPORTS PUBLICS

Une étude menée à l'Université de Monash, Australie [66], reconnaît une transition qui serait en train de s'effectuer dans le domaine des transports publics : la *Transit Fusion*. Par définition, la *Transit Fusion* serait l'adaptation des véhicules, des infrastructures et des services dans le but d'intégrer les meilleures fonctionnalités et les modes de transport les plus performants dans les systèmes de transport en commun afin d'améliorer la performance globale du service ainsi que son attractivité. Cette transition miserait principalement sur les technologies de conduite automatisée afin de parvenir à ses fins.

Le *Smart Cities and Smart Mobility Special Report 2017* [67] affirme que la technologie des véhicules autonomes est en train de faire son apparition dans le domaine des transports en commun. Même que dernièrement, au *Global Public Transport Summit* des États-Unis, deux partenariats de l'industrie des transports : Transdev/EasyMile et Keolis/NAVYA ont représenté leurs navettes autonomes. Le premier partenariat mentionnait que les navettes avaient été testées à Singapour, au Japon, en Europe et aux États-Unis. Équipées de capteurs LIDAR, d'un système GPS, d'un odomètre et d'une unité de mesure d'inertie, les navettes seraient en mesure de circuler librement dans les périmètres ayant été préalablement délimités et cartographiés par l'équipe technique de l'entreprise. Le deuxième partenariat opérerait actuellement ses navettes sur le territoire de la Suisse et de la France. Utilisant sensiblement les mêmes technologies que son compétiteur, les navettes seraient en mesure d'offrir un service 24 heures et pourraient circuler sur les mêmes segments routiers que les voitures et les piétons. La figure 17 démontre ce à quoi ressemblent les navettes mises en marché par le premier partenariat et la figure 18 démontre plutôt celles mises en marché par le deuxième partenariat.



Figure 17 : Navette autonome produite par Transdev et EasyMile [68]



Figure 18 : Navette autonome produite par Keolis et NAVYA [67]

Une étude publiée par le *Journal of Public Transportation* [68] et voulant définir les impacts des véhicules autonomes sur le domaine des transports publics a tenu à préciser que l'utilisation des navettes autonomes dans le système de transport public des municipalités allait permettre de combiner à la fois les avantages associés aux technologies des voitures autonomes et les avantages associés au transport public. Ainsi, ces nouveaux modes de transport pourront assurer des déplacements plus rapides en évitant la congestion avec la technologie de connectivité et en utilisant les voies réservées au transport public. De plus, les navettes pourront assurer des déplacements peu coûteux à ceux qui désireront conserver un petit budget de transport. Or, tant en fonction de la rapidité des déplacements qu'en fonction des faibles coûts d'utilisation, ces navettes pourront certainement convaincre de nombreux résidents urbains d'en faire l'utilisation.

5.6 CONCLUSION

Plusieurs tendances ont pu être dégagées à travers les études consultées pour la réalisation de cette section. Tout d'abord, les résultats des études montrent que l'utilisation des voitures autonomes privées risque d'augmenter [50, 51]. Cette augmentation, qui est tributaire du taux de pénétration des voitures autonomes dans le parc automobile, se fera probablement au détriment d'un délaissement partiel des services de transport en commun.

L'utilisation accentuée des voitures autonomes privées pourrait provoquer dans un premier temps une hausse considérable du temps passé dans les transports privés. Cette situation pourrait inciter certains voyageurs à reconsidérer l'utilisation des services de transport en commun [51]. Toutefois, afin d'offrir un service attrayant et performant, les systèmes de transport en commun devraient s'ajuster à la présence de nouvelles technologies de conduite automatisée et miser sur la complémentarité des modes de transport incluant les véhicules autonomes [35, 54, 57, 58].

Dans les grands centres urbains, l'utilisation des transports en commun devrait servir aux déplacements sur les plus longues distances. L'utilisation des voitures autonomes sur demande et partagées viendrait compléter les déplacements pour les premiers ou les derniers kilomètres [57, 58]. Ainsi, l'offre de services deviendrait plus flexible et permettrait aux utilisateurs de circuler sur le réseau routier plus rapidement et à plus faibles coûts [68]. Le fait de développer des services de véhicules autonomes partagés stimulerait également l'utilisation des transports en commun [3, 57].

Bien que l'offre de services soit actuellement dominée par les compagnies privées [13, 52, 59, 60, 61], le développement de partenariats public-privé pourrait accélérer la transition vers l'utilisation des véhicules autonomes. Ce type d'association permettrait d'offrir de meilleurs services aux utilisateurs et diminuer le coût d'utilisation et d'opération relativement aux modèles de transport actuels [64, 65, 62, 63, 61].

Finalement, dans le but d'offrir les meilleurs services possibles, les transports publics devront miser sur l'intégration des navettes autonomes dans leur offre de services [66, 67, 68]. Ces navettes pourraient assurer le déplacement rapide des usagers tout en assurant un faible coût d'utilisation.

Le tableau qui suit reprend l'essentiel des informations émises dans la section 5 en relevant les enjeux, les défis, les menaces et les opportunités reliés à la cohabitation du transport public et privé dans un contexte d'utilisation des véhicules autonomes. De plus, ce même tableau relève les principales tendances soulevées par la section.

Tableau 9 : Sommaire de la section 5

	Enjeux	Défis	Menaces	Opportunités
Cohabitation du transport public et privé	• Transports privés par VAE • Augmentation du nombre d'utilisateurs des VAE	• Maintenir un système de transport public efficace et attrayant • Conserver une demande suffisante au maintien des services de transport public	• Augmentation du nombre d'utilisateurs des VAE • Diminution des utilisateurs des transports publics • Développement de partenariats non équitables	• Transformation positive des transports publics (technologies automatisées) • Favoriser une offre de services incluant plusieurs modes de transport • Inclure plusieurs acteurs dans l'offre de services
	Principales tendances			
	• Augmentation projetée du nombre d'utilisateurs des voitures privées / Diminution du nombre d'utilisateurs des transports publics • Modification et adaptation des transports publics en vue de l'intégration des technologies automatisées • Développement de partenariats public-privé dans plusieurs secteurs associés aux VAE			

6. TAUX DE POSSESSION DES VÉHICULES

6.1 DISPONIBILITÉ

Plusieurs facteurs jouent un rôle déterminant dans le déploiement des voitures autonomes. La disponibilité des voitures, le prix de vente des véhicules, les coûts d'utilisation, ainsi que la volonté des particuliers à utiliser ce nouveau mode de transport en sont quelques-uns [69].

Une étude produite par la firme *Burohappold Engineering* [16] s'est penchée sur la disponibilité future des voitures autonomes. C'est en émettant une distinction entre un scénario proposant une évolution d'automatisation et de connectivité des voitures actuelles ainsi qu'un scénario proposant une révolution à partir du modèle de voiture complètement autonome déjà proposé par Google (*Waymo*) que les auteurs ont tenté de prédire les mutations susceptibles de se produire sur le marché des véhicules autonomes. La figure 19 illustre chacune des étapes de progression estimées. Dans le scénario évolutif, l'étude estime que les voitures semi-autonomes seront mises à l'avant-plan du marché automobile jusque vers les années 2025-2030. À partir de ce moment, les manufacturiers de l'industrie commenceront réellement à s'intéresser au déploiement des voitures complètement autonomes. Il s'agit alors d'une pénétration tardive des voitures autonomes. Dans le scénario révolutionnaire, les voitures complètement autonomes seraient priorisées dans la mise en marché et seraient introduites sur le système routier dès 2021-2022, et ce, principalement à titre de service de taxi sur demande. Ainsi, dès 2031-2032, la production des voitures semi-autonomes cesserait totalement de s'effectuer au profit de voitures autonomes de niveau 5. Il s'agit alors d'une pénétration hâtive des voitures autonomes.

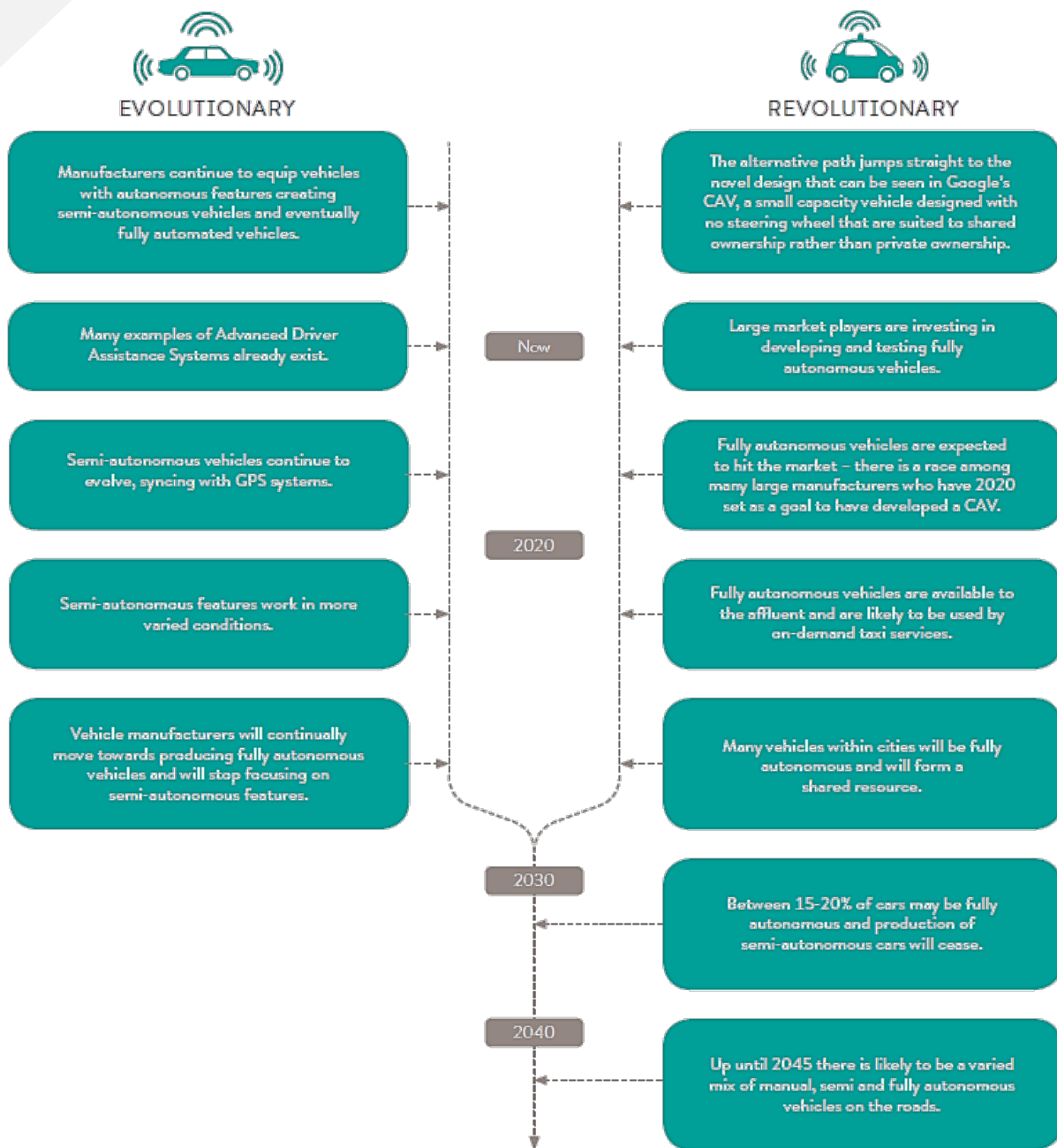


Figure 19 : Scénarios d'évolution et de révolution face à la disponibilité des voitures autonomes [16]

Pour ce qui est du déploiement des véhicules autonomes à travers le monde, les travaux publiés par le *Emerald Insight* [9] identifient quatre pôles géographiques susceptibles de posséder les plus grandes parts du marché associé aux ventes des véhicules autonomes de niveau 5 : l'Europe, les États-Unis et le Canada, la Chine ainsi que le Japon et la Corée du Sud. La figure 20 illustre la projection de progression des ventes

estimées dans chacun de ces quatre pôles géographiques pour la décennie allant de 2025 à 2035. L'étude souligne que le pôle principal des ventes se trouve en Amérique du Nord, notamment aux États-Unis et au Canada, avec environ 3,5 millions de ventes d'ici quinze ans. De plus, en cumulant l'ensemble des effectifs, la figure dénombre près de 10 millions de ventes de véhicules pleinement autonomes au terme de cette même période.

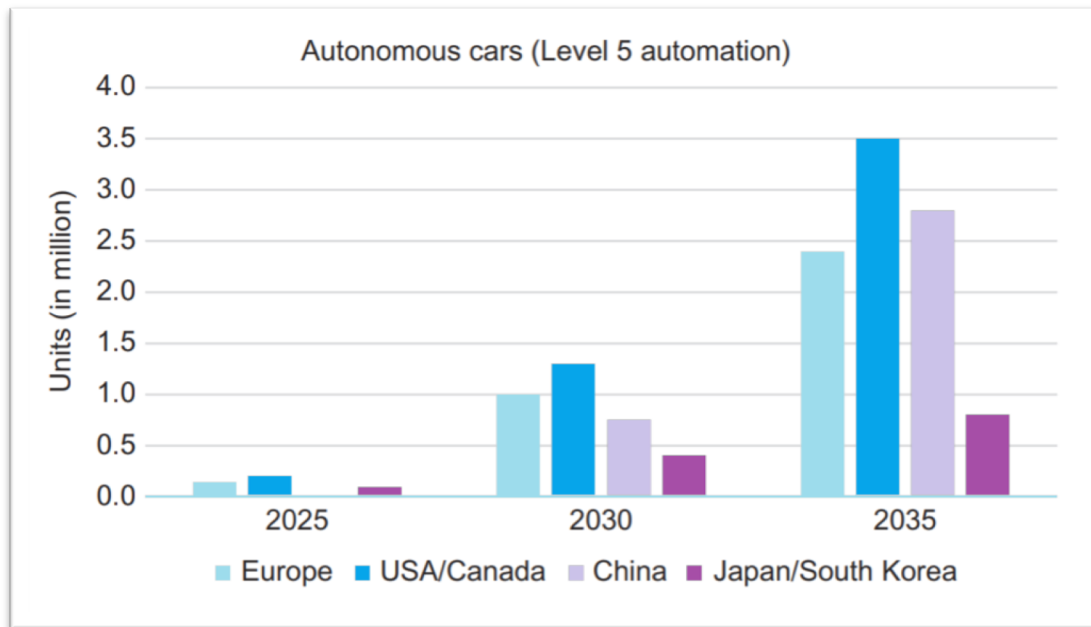


Figure 20 : Projections des ventes mondiales de véhicules autonomes de niveau 5 [9]

Afin de prédire les parts de marché des véhicules dans les ventes totales, et donc le taux de pénétration des véhicules autonomes, certains chercheurs se basent sur la courbe S d'innovation. Un concept initial qui nécessite le développement, les tests, l'approbation, la sortie commerciale, l'amélioration du produit, l'expansion du marché, la différenciation, la maturation, et finalement la saturation et le déclin. La technologie des véhicules autonomes suivra probablement ce modèle [70]. En se basant sur ce modèle et en supposant que les véhicules de niveau 5 deviendraient disponibles dans le commerce à partir de 2020, seule une minorité de véhicules neufs serait susceptible d'être entièrement autonome. Les parts de marché augmenteraient à mesure que leurs prix baisseraient, les performances s'amélioreraient et les consommateurs gagneraient en confiance. Dans les années 2040, environ la moitié des véhicules vendus et 40 % des déplacements en véhicule pourraient être autonomes. Finalement, sans législation obligeant l'acquisition de véhicules autonomes, la saturation du marché prendrait probablement plusieurs décennies à s'effectuer. Une partie des automobilistes pourraient continuer à choisir des véhicules non autonomes en raison des coûts et des préférences, c'est ce que représente la figure 21.

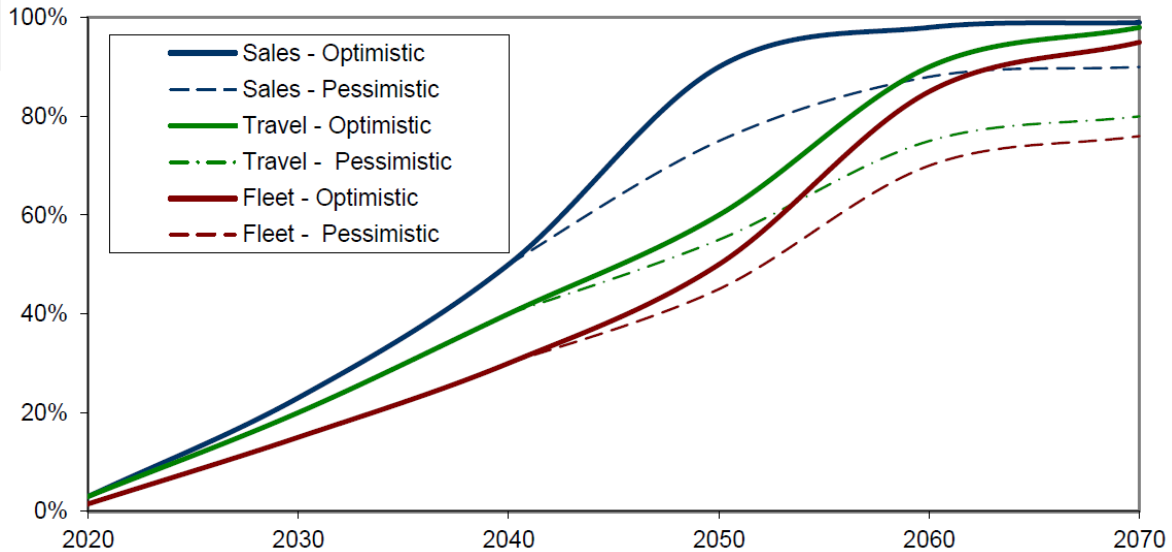


Figure 21 : Projections des parts de marché des véhicules autonomes [70]

6.2 COÛTS DE POSSESSION

La technologie nécessaire à la fabrication d'un véhicule autonome est jusqu'à présent très dispendieuse. Elle peut varier en fonction du concepteur et du fabricant, mais également en fonction du niveau d'autonomisation du véhicule. À titre d'exemple, l'ajout d'un système de stationnement automatique peut coûter environ 2000 \$, l'ajout d'un système de pilotage automatique, 5500 \$ et l'ajout d'un système de LIDAR similaire à ceux actuellement utilisés par les voitures Google, entre 50 000 \$ et 75 000 \$ [34, 71]. L'expérience des innovations précédentes, telles que les transmissions automatiques, suggère que la capacité de conduite autonome ne sera initialement disponible que sur les modèles plus dispendieux, et qu'il faudra une décennie au minimum pour être incorporée dans les modèles intermédiaires et inférieurs, à prix plus abordables [70].

Un sondage d'opinion publique réalisé auprès de 5000 répondants à travers plus de 100 pays [72] a voulu déterminer quel serait le montant que les propriétaires de voitures conventionnelles seraient prêts à déboursier pour ajouter une technologie partielle, élevée et complète de conduite autonome à leur voiture. Les résultats ont démontré que 22 % des répondants ne seraient pas prêts à payer davantage pour la technologie associée aux véhicules autonomes. Le sondage relève également qu'environ 48 % des répondants seraient prêts à payer entre 1 \$ et 7000 \$, qu'environ 25 % seraient prêts à payer entre 7001 \$ et 30 000 \$ et que moins de 5 % seraient prêts à payer plus de 30 000 \$ pour cette même technologie. La figure 22 reflète cette distribution et informe le lecteur sur les intentions et les capacités monétaires des conducteurs internationaux à propos de leur désir de posséder une voiture autonome privée.

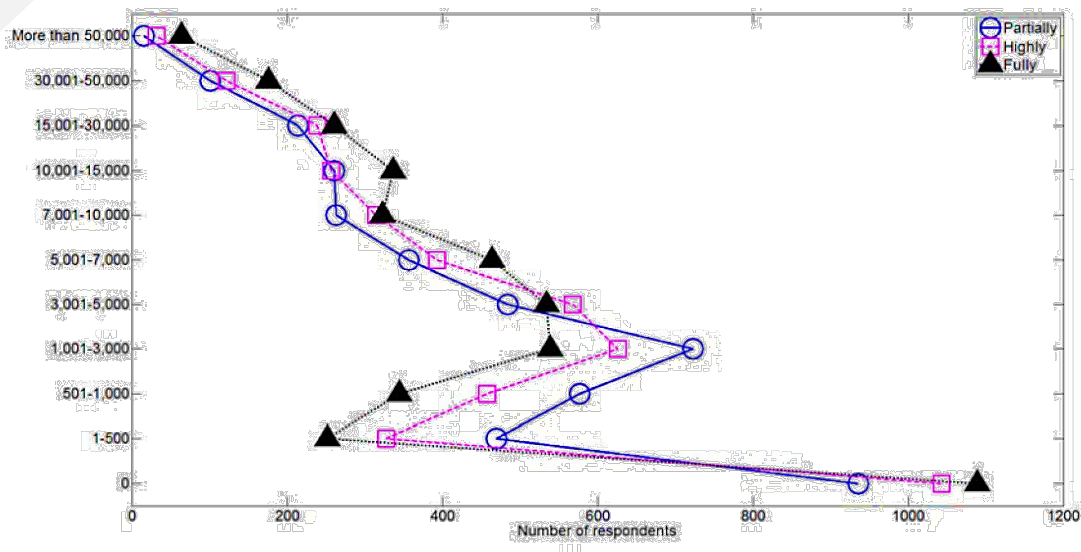


Figure 22 : Combien seriez-vous prêts à payer pour les technologies associées aux voitures autonomes? [72]

Certains auteurs estiment qu'en plus du coût de possession initial d'une voiture autonome, les coûts annuels récurrents peuvent avoir un impact sur la décision d'acquisition. Selon la AAA [73], les coûts annuels des automobiles sont actuellement d'environ 3600\$ en dépenses fixes (financement, amortissement, assurance, frais d'enregistrement, stationnement résidentiel et entretien programmé) et 2400\$ en dépenses variables (carburant, huile, usure des pneus et stationnement payant), et parcourent environ 12 000 miles annuellement, ce qui coûte en moyenne au propriétaire 50 ¢ par mile, dont 20 ¢ pour les frais d'opération.

Des chercheurs [70] résument dans la figure 23 la comparaison les coûts pour les voitures autonomes en possession privée, versus les coûts de différents autres moyens de transport, incluant ceux d'une voiture non automatisée. Dans cette figure, les coûts moyens sont ce que les usagers de la route prennent en compte lorsqu'ils décident d'acheter un véhicule tandis que les coûts d'opération sont ce que les propriétaires de véhicules prennent en compte lorsqu'ils effectuent un déplacement. Ainsi, la figure montre que le coût moyen d'une voiture autonome privée avoisinerait 1\$ par mile parcouru, ce qui représente sensiblement le double du prix d'une voiture non automatisée.

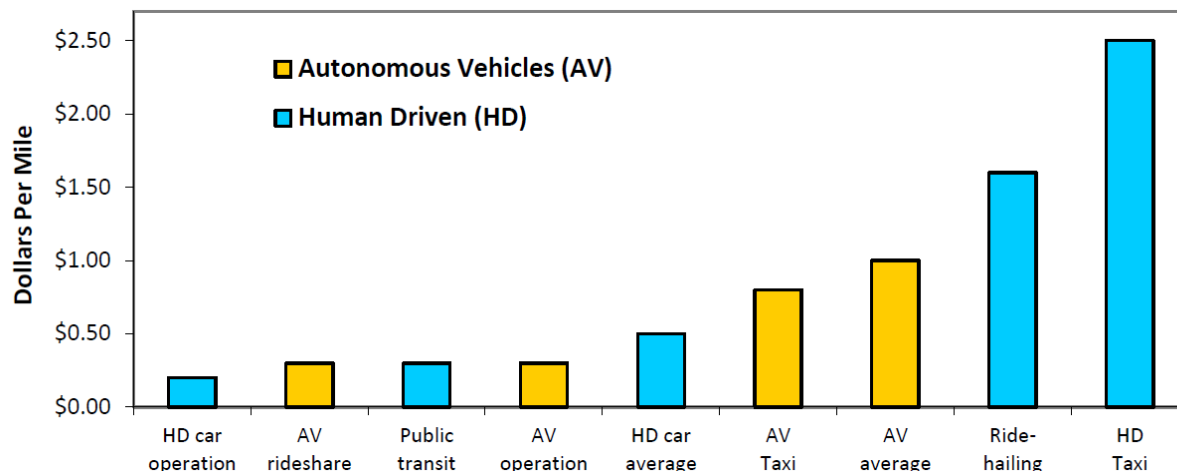


Figure 23 : Comparaison des coûts d’acquisition et d’opération d’une voiture autonome privée versus d’autres options de transport [70]

En comparaison avec les frais d’acquisition et d’opération d’une voiture autonome privée, les frais associés aux services actuels de mobilité TNC (*Transportation Network Company*) partagée sont estimés à un montant allant de 0,65 \$ à 2,00 \$ en fonction du type de service choisi [14, 34, 52, 74]. Les services TNC incluent tous les fournisseurs qui offrent leurs services de transport via un site Internet ou une application mobile (exemple : Taxi, Uber, Lyft, Via, Waymo, etc.). On estime que les véhicules autonomes pourraient, quant à eux, fournir un service de transport à des coûts allant de 0,20 \$ à 0,50 \$ par passager, par mile parcouru, dépendamment de leur taux de pénétration, du coût d’opération, et du type de partage [14, 34, 52, 74]. Ceci est mis en évidence également dans les figures 15 et 16. Cette option pourrait donc devenir très compétitive en comparaison aux options maintenant offertes, ainsi qu’en comparaison avec une possession de voiture autonome privée.

Certains auteurs sont également d’avis qu’à long terme, les prix utilisation ou d’opération des véhicules autonomes devraient diminuer. Avec la réduction considérable des coûts d’utilisation du carburant [15, 18], liée à l’électrification et à l’optimisation de l’accélération et de la décélération [12, 75], à l’absence de conducteur ainsi qu’à la réduction des frais de stationnement, le recours des véhicules autonomes en usage privé, partagé et communautaire devrait engendrer une diminution des coûts généraux reliés au transport de l’usager [2]. Ainsi, le *Euro Working Group on Transportation* [75] projette, à long terme, une diminution de coûts approximatifs de plus de 1500 \$ annuellement pour l’utilisation d’une voiture autonome en comparaison à une voiture conduite manuellement. En y ajoutant la valeur potentielle d’économie de temps dans les transports et les gains potentiels en productivité, l’utilisation de la voiture autonome deviendrait encore plus profitable et représenterait une économie de près de 13 000 \$ annuellement en comparaison à la voiture conventionnelle.

6.3 BESOINS ET HABITUDES DE POSSESSION

Une étude effectuée dans l'État de la Georgie, États-Unis [5], a tenté de mettre en relation les impacts de l'utilisation des véhicules autonomes à la nécessité de possession multiple des véhicules. C'est en utilisant les données provenant d'un sondage effectué à Atlanta, États-Unis, en 2011 (*Atlanta Travel Survey*) et les données provenant d'une synthèse de modèle de simulation (*ABM : Activity-Based travel Model*) également effectué à Atlanta, États-Unis, que les résultats ont été obtenus. Selon ces résultats, plus de 18 % des ménages étudiés pourraient réduire leur nombre de véhicules privés sans pour autant modifier leurs habitudes de mobilité [5]. Pour ces ménages, l'étude estime qu'une réduction moyenne de 1,1 véhicule par foyer serait réaliste. À l'inverse, les ménages qui ne seraient pas en mesure de réduire leur nombre de voitures seraient contraints par des horaires non flexibles nécessitant un transport individualisé pour plusieurs membres de la famille. Toutefois, en simulant une plus grande flexibilité dans les horaires (délais tolérés de 15 minutes), le pourcentage de ménages qui pourrait réduire leur nombre de véhicules passerait de 18,3 % à 24,1 %. Pour la région métropolitaine d'Atlanta, États-Unis, ce chiffre représenterait environ 510 000 ménages ainsi qu'une réduction de plus de 560 000 voitures en possession privée.

En questionnant les ménages qui possèdent actuellement plusieurs voitures, on constate que le besoin derrière cette multiple possession est d'abord d'assurer la liberté de déplacement des différents membres de la famille et ensuite, d'avoir la possibilité de transporter des objets volumineux [58]. Ces ménages désirent que chacun des membres de la famille puisse s'adonner aux activités qui lui sont chères (divertissement) et remplir les responsabilités qui lui sont attribuées (emploi). Jusqu'à présent, cette liberté se paye au prix d'une possession multiple de véhicules, de conducteurs légalement désignés et d'un horaire du temps rempli de va-et-vient entre les points intérêts réclamés de tous [19]. À partir du moment où les véhicules seraient complètement autonomes et pourraient circuler librement, la possession multiple de voitures deviendrait inutile pour plusieurs ménages [3]. Une seule voiture autonome privée ou semi-privée, agissant au rythme d'une navette, allant d'un point de collecte à un point de dépôt, pourrait être largement suffisante afin d'assurer la liberté de déplacement de chacun des membres de la famille.

Selon le *University of Michigan Transportation Research Institute* [76], 83,7 % des ménages qui possèdent actuellement plus d'un véhicule n'ont pas conflit de chevauchement de transport. Cela veut donc dire que ces ménages pourraient très bien fonctionner avec l'utilisation d'une seule voiture autonome privée. Près de 14,7 % de ces mêmes ménages estiment qu'ils auraient besoin de deux véhicules puisque les horaires d'au moins deux personnes sont conflictuels. Finalement, moins de 2 % des répondants estiment qu'ils auraient besoin de trois véhicules en raison de leur emploi du temps. Or, bien que le nombre de voitures moyen chez les répondants de cette étude soit de 2,1 par ménage, si l'on tient compte de la diminution potentielle avec l'utilisation des véhicules autonomes, ce nombre se situerait plutôt autour de 1,2. En d'autres termes, le taux de possession des véhicules pourrait diminuer de 43 % par ménage avec l'utilisation exclusive des voitures autonomes privées.

Un rapport publié par la firme *McKinsey&Company* [77] prévoit de nombreux changements dans les habitudes de possession des voitures d'ici 2030. Selon le rapport, les véhicules autonomes seraient en mesure de diminuer le taux de possession des véhicules en raison du partage des voitures dans le ménage et de l'adoption de services de partage. Bien que l'étude prévoit une croissance globale du nombre de ventes automobiles, principalement liées à la croissance de l'urbanisation et de l'économie mondiale, elle

estime tout de même une diminution de la possession individuelle. La figure 24 démontre l'ampleur des changements attendus pour 2030. En s'appuyant sur les données réelles de 2015 pour effectuer les calculs de projections, l'étude estime une croissance des ventes automobiles mondiales d'environ 47 %, une réduction de la possession privée des véhicules d'environ 26 % et une augmentation de l'utilisation de services de partage de voitures de 11,5 %.

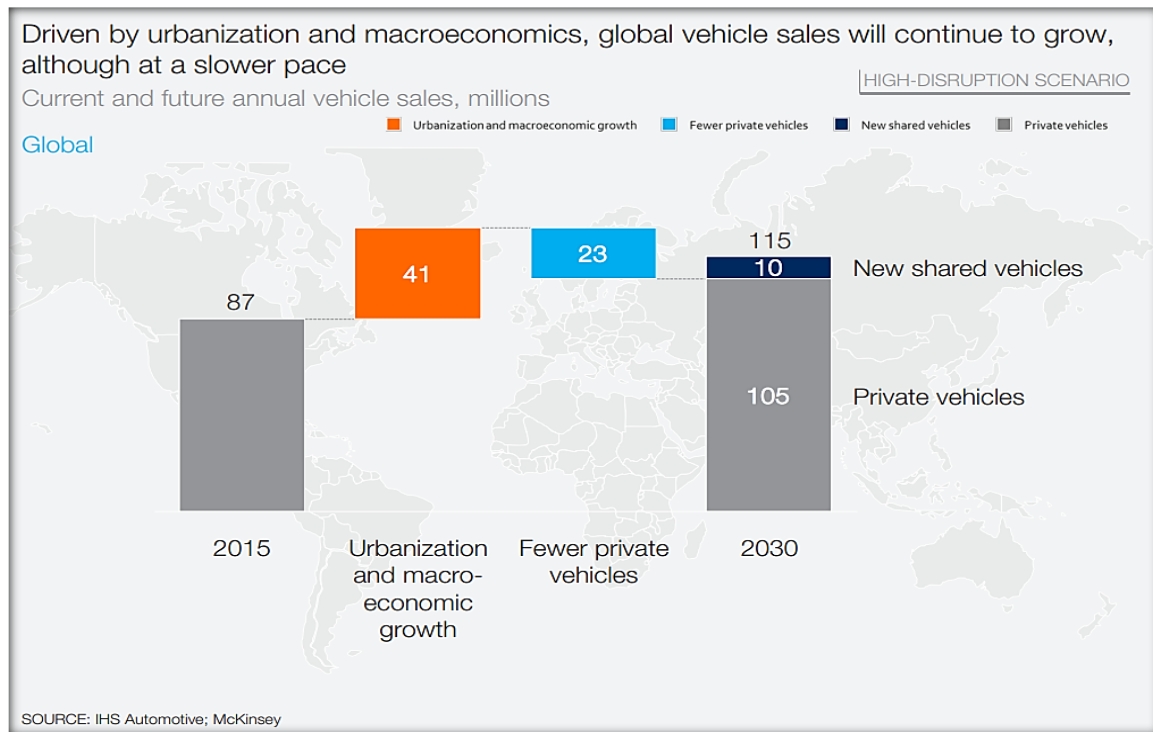


Figure 24 : Variation des habitudes de possession des véhicules privés, projection 2030 [77]

Il est à prévoir que la génération des baby-boomers entraînerait une augmentation du pourcentage de la population à vouloir posséder un véhicule autonome privé [30]. Cette prévision se base notamment sur leur pouvoir économique, mais également sur le fait qu'ils verraient les véhicules autonomes comme un moyen d'améliorer leur qualité de vie et de conserver leur indépendance, malgré leur âge vieillissant. À l'inverse, les jeunes de la génération Y (nés entre 1985 et 2000) auraient tendance à obtenir leur permis de conduire plus tardivement et à tenter d'éviter la possession d'un véhicule. De plus, ils chercheraient constamment à réduire le nombre de kilomètres annuellement parcourus, notamment en raison de leur sensibilité aux causes environnementales associées aux changements climatiques actuels [78]. Or, ce serait plutôt les voitures autonomes partagées, semi-publiques et semi-privées qui risqueraient de les attirer. Ces types de transport permettraient d'améliorer la mobilité des jeunes générations tout en demeurant fidèles à leurs valeurs environnementales, particulièrement si les voitures autonomes sont entièrement électriques.

6.4 INTÉRÊTS ET PRÉFÉRENCES

Un sondage [79] effectué auprès de 1214 ménages de l'État de la Floride, États-Unis, a voulu saisir l'intérêt des propriétaires de voitures à délaissier leur voiture au profit de l'utilisation de service de partage de véhicules autonomes. Dans l'échantillon prélevé, où certains candidats provenaient de l'Université du Sud de la Floride (*University of South Florida*) et d'autres de l'*American Automobile Association*, 417 possédaient seulement un véhicule et 797 possédaient au moins 2 véhicules. Afin de déterminer le niveau d'intérêt des candidats face au changement, l'étude proposait aux détenteurs d'un seul véhicule de délaissier l'utilisation de ce dernier et de le remplacer par une utilisation complète de services de véhicules autonomes partagés. Puis, l'étude proposait aux détenteurs de plusieurs véhicules de délaissier un seul d'entre eux et de le remplacer par une utilisation partielle de véhicules autonomes partagés. Les résultats ont démontré que près de 54 % des répondants ne seraient pas favorables au remplacement de leur véhicule privé, que près de 20 % des répondants étaient incertains face au changement proposé et aux implications que cela pouvait occasionner et qu'environ 26 % des répondants étaient favorables à un tel changement. De plus, cette étude relève que les répondants de plus jeunes âges, de sexe féminin et ayant un historique d'accident ou de collision, seraient les plus enclins à vouloir substituer l'utilisation de leur voiture privée pour l'utilisation de services de véhicules autonomes partagés.

Un deuxième sondage [80] réalisé dans l'État de Washington, États-Unis, a plutôt voulu étudier les préférences des répondants à l'égard des déplacements possibles avec véhicules autonomes. C'est en cumulant les données de 4481 participants d'âge adulte que l'étude a pu obtenir les résultats. Ainsi, pour la section du questionnaire qui voulait cumuler l'information relative au désir de possession privé d'un véhicule autonome, l'étude a obtenu des résultats assez révélateurs. Le cumulatif des répondants qui ne seraient pas intéressés du tout par la possession d'une voiture autonome se situait aux alentours de 51,9 %. Les répondants qui ne seraient pas vraiment intéressés par la possession d'une voiture autonome se situaient à 6,6 %. Les répondants neutres face à la question représentaient 13,2 % des personnes sondées. 15,2 % des répondants seraient un peu intéressés et 13,1 % seraient très intéressés par la possession d'une voiture autonome personnelle. Ainsi, plus de la moitié des répondants n'aurait aucun intérêt à posséder un véhicule autonome, près de 20 % des répondants auraient une perception neutre ou légèrement négative à l'égard de cette possession et seulement 28 % des répondants auraient une perception positive face à la possession privée d'un véhicule autonome. La figure 25 illustre la répartition des réponses à cette question en plus de la répartition des réponses obtenues face à la location d'un véhicule autonome, à l'utilisation d'un système de taxis autonomes (avec ou sans chauffeur) et à l'utilisation des voitures autonomes comme moyen de transition sur courtes distances.

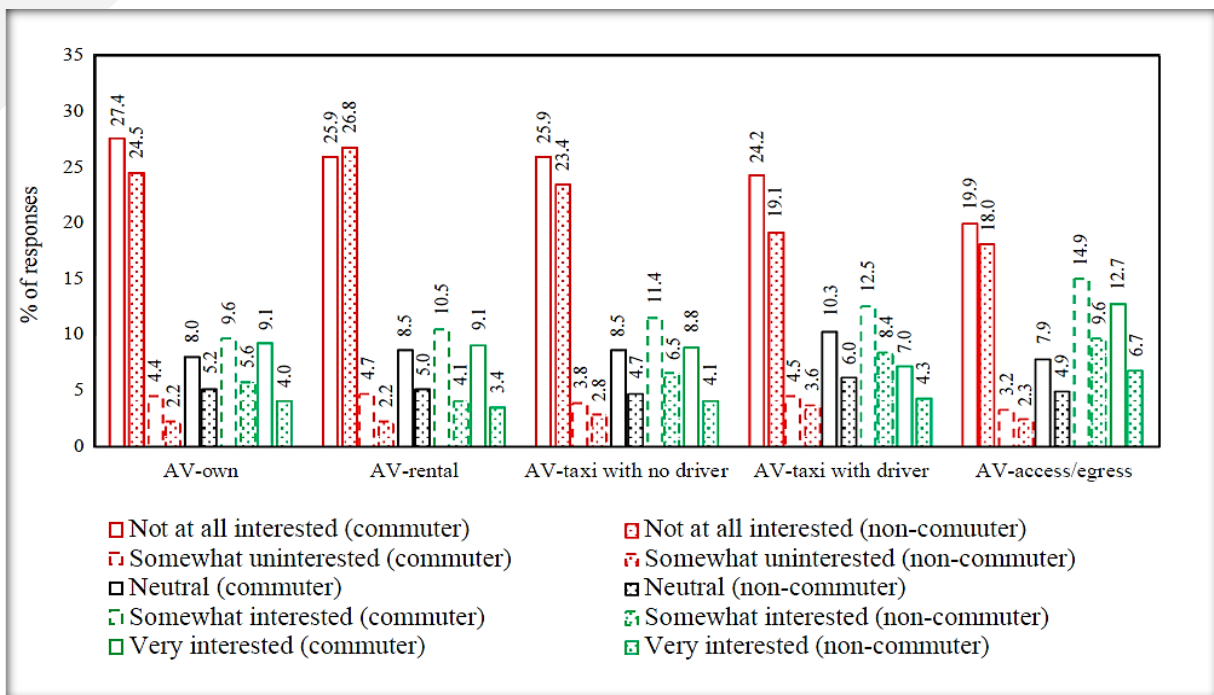


Figure 25 : Préférences des répondants à l'égard des déplacements avec véhicules autonomes [80]

Un dernier sondage effectué principalement sur le territoire nord-américain et israélien [81] a été en mesure de collecter 4260 observations portant sur les préférences des conducteurs à l'égard des véhicules autonomes. 1920 de ces observations provenaient du Canada et des États-Unis, 2109 provenaient d'Israël tandis que les 231 restantes provenaient d'ailleurs à travers le monde. L'étude tentait de démontrer les impacts que pourraient avoir certaines attitudes des conducteurs face à leur futur choix de mobilité. C'est donc en cumulant l'information relative à la perception des véhicules autonomes, aux préoccupations environnementales, à l'intérêt envers la technologie, à l'utilisation des transports publics et au plaisir de conduire que les résultats ont pu être présentés. Ainsi, les résultats démontrent que dans presque tous les cas étudiés, le choix de la voiture conventionnelle demeure le plus populaire. De plus, l'étude révèle que les personnes avec de plus grands revenus seraient plus portées à utiliser les services de transport partagés (27 %), que les personnes avec de plus grandes préoccupations environnementales seraient également plus enclines à utiliser les services de transport partagé (27 %), que les personnes favorables à l'intégration des voitures autonomes tendraient principalement vers l'utilisation privée de ces voitures (49 %) et que les personnes qui n'apprécient pas particulièrement la conduite automobile seraient très favorables à l'utilisation des voitures autonomes privées et partagées (74 %). La figure 26 présente les préférences des répondants du sondage en fonction des choix offerts : voiture conventionnelle, voiture autonome privée ou voiture autonome partagée. L'acronyme EC représente les préoccupations environnementales (*Environmental Concern*), l'appellation Pro-AV représente la considération de l'intégration des voitures autonomes et l'acronyme ED représente l'appréciation de la conduite automobile (*Enjoy Driving*). De plus, les différentes valeurs numériques indiquées sur l'axe horizontal représentent respectivement la moyenne positive et négative de chacune des attitudes relevées.

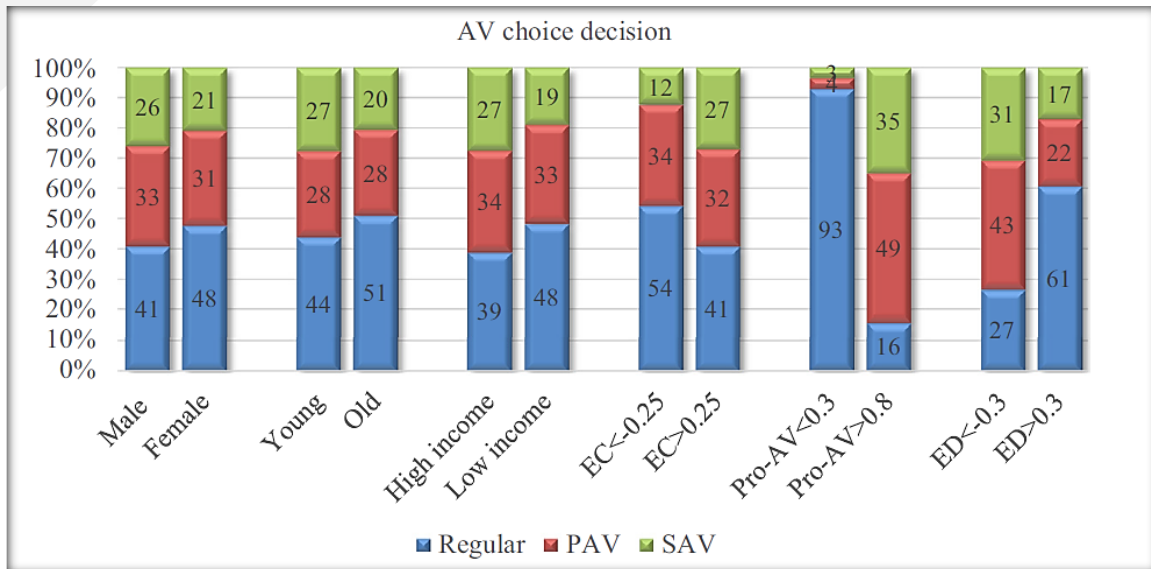


Figure 26 : Préférences quant aux choix de véhicules à adopter [81]

6.5 CONCLUSION

Cette sixième section relève plusieurs tendances à propos de la possession des véhicules autonomes. Tout d'abord, la plupart des travaux relevés [9, 16, 69, 77] estiment que les voitures complètement autonomes seraient disponibles d'ici 2030 et que les principaux marchés se trouveraient en Amérique du Nord, en Europe et en Asie de l'Est.

Les technologies relatives à la fabrication des voitures autonomes sont présentement dispendieuses, mais risquent de diminuer considérablement dans les années à venir [2, 12, 15, 18, 34, 71, 75]. Le consommateur devrait tout de même s'attendre à payer davantage pour l'acquisition d'une voiture autonome. En contrepartie, l'utilisation de la voiture autonome devrait être passablement moins coûteuse que l'utilisation de la voiture conventionnelle en raison de l'énergie nécessaire à son utilisation, de l'économie de temps dans les transports et de l'augmentation de la productivité. Malgré tout, la majorité des personnes sondées seraient prêtes à déboursier au maximum 7000 \$ pour l'acquisition d'une voiture autonome [72].

L'accessibilité des voitures autonomes aura tendance de provoquer une réduction du nombre de voitures possédées par les ménages [3, 5, 19, 58, 76]. La majorité des ménages qui possèdent actuellement plus d'un véhicule pourraient subvenir à l'entièreté de leurs besoins de mobilité avec seulement un véhicule autonome. De plus, en réponse à cette diminution du nombre de voitures privées, les recherches [78, 77] estiment une hausse probable de l'utilisation des services de partage des voitures autonomes.

Finalement, les sondages d'opinion publique démontrent que la majorité des conducteurs considèrent que la voiture conventionnelle est encore le meilleur choix pour subvenir à leurs besoins. Ces mêmes études

estiment que seulement un tiers des répondants seraient favorables à la substitution de leur voiture conventionnelle pour une voiture autonome [79, 80, 81].

Le tableau qui suit reprend l'essentiel des informations émises dans la section 6 en relevant les enjeux, les menaces et les opportunités reliés au taux de possession des véhicules autonomes. De plus, le tableau relève les principales tendances soulevées par la section.

Tableau 10 : Sommaire de la section 6

	Enjeux	Menaces	Opportunités
Taux de possession des véhicules	- Disponibilité des VAE - Coûts de possession des VAE - Nombre variable de véhicules par ménage - Émergence d'un système de services partagés	- Retard dans la disponibilité des VAE de niveau 4 et 5 - Prix de vente non compétitif - Réticences à l'adoption dans l'opinion publique	- Diminution du nombre de voitures par ménage - Utilisation de services de transport autonome partagé
	Principales tendances		
	- Disponibilité des VAE prévue pour 2030 - Coût moyen des VAE passablement plus grand que celui des véhicules conventionnels - Coût d'utilisation des VAE partagés plus avantageux que des services de mobilité actuels - Augmentation probable de l'utilisation des services de transport autonomes partagés - La majorité des consommateurs seraient prêts à payer 7000 \$ et moins pour la technologie des VAE - Réduction probable du nombre de voitures par ménage suite à l'adoption des VAE		

7. COMPORTEMENTS DE MOBILITÉ

7.1 MODIFICATION DES HABITUDES DE DÉPLACEMENT

Une étude effectuée par le NCTR (*National Center for Transit Research*) de l'État de la Floride, États-Unis [74], ainsi qu'un sondage effectué auprès de répondants allemands [46] ont été en mesure de se pencher sur les éléments technologiques qui influencent le plus les comportements de mobilité des usagers du système routier. La figure 27 illustre ces principaux éléments technologiques (à gauche de la figure) et démontre qu'ils peuvent modifier les performances d'une option de mobilité en fonction des facteurs les plus influents quant aux décisions de voyage (à droite de la figure). Or, les facteurs les plus influents représentés par la figure sont les principaux éléments évoqués par la littérature actuelle en lien avec les avantages attendus par l'implantation de véhicules autonomes sur le réseau routier.

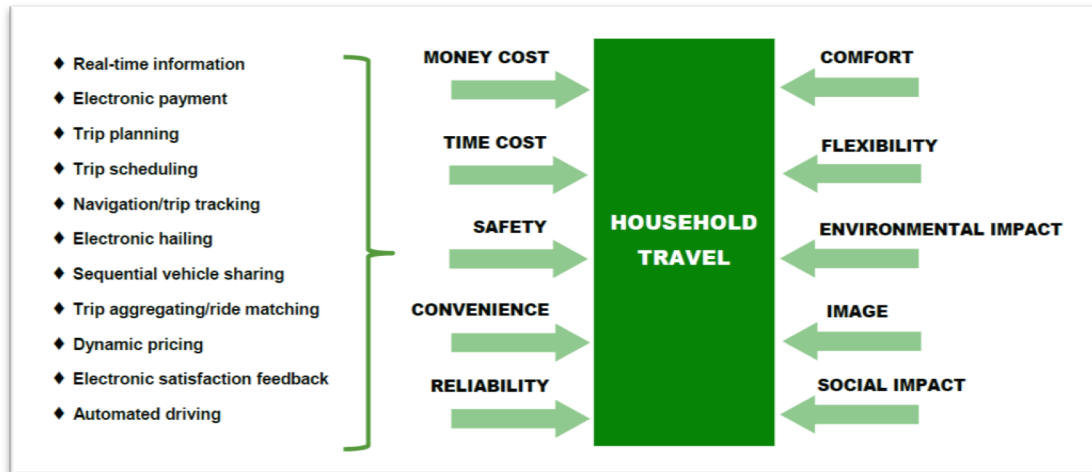


Figure 27 : Technologies qui influencent les comportements de mobilité [74]

Par exemple, le coût du voyage en temps et en argent est reconnu comme étant le facteur le plus critique qui façonne le comportement de mobilité des voyageurs [74]. Comme mentionné précédemment, la majorité des chercheurs s'entendent sur le fait que les voitures autonomes permettraient à la fois des économies en argent et en temps. De fait, les options de voyage à moindre coût, utilisant les voitures autonomes, devraient accroître la concurrence avec les autres modes de transport et ainsi favoriser l'utilisation des technologies automatisées.

Ainsi, les avantages ressentis par l'utilisation de la voiture autonome, relativement à tous les facteurs identifiés dans la figure 27, risquent de modifier les comportements de mobilité des usagers du système routier.

7.2 MOBILITÉ DE PARTAGE

L'attrait du partage des véhicules n'est pas connu de tous. Pour plusieurs, il est considéré comme limitatif et demande un nombre d'efforts excessif pour être pleinement viable. Or, la majorité des personnes préfère encore garder une autonomie complète face à leur mobilité, au risque de devoir posséder un véhicule privé. Pourtant, on assiste présentement à une hausse considérable du nombre d'utilisateurs des services de partage [7]. Des centaines de villes prônent désormais le partage de véhicules et chapeautent des initiatives fonctionnelles (*nuTonomy*, *Zoox*, *Uber*, *Scoop*, etc.) principalement propulsées par l'accessibilité et la connectivité des appareils mobiles [3, 7].

La figure 28 reflète certains exemples d'initiatives de partage de véhicules ainsi que l'ampleur des investissements faits envers certaines compagnies de mobilité de partage dans les dernières années. Bien que la progression de la figure se limite à l'année 2015, il est intéressant de constater qu'au courant de l'année 2016, les investissements envers ces compagnies ont continué de bondir pour atteindre plus de 21 milliards de dollars, soit près du double de l'année précédente. Concrètement, on estime que le nombre d'utilisateurs de la plateforme *Uber* en Chine avait dépassé les 50 millions au moment de la rédaction de l'article en 2016, ce qui représentait plus de 100 millions d'utilisations par semaine, soit plus de 36 milliards d'utilisations par année [3]. Depuis, d'autres plateformes de partage ont fait leur entrée sur le marché chinois. *Didi* en est un bon exemple [14]. Désormais bien installée, cette plateforme de partage aurait reçu dernièrement un support financier considérable de la part de la compagnie *Apple*. De fait, *Didi* souhaiterait pouvoir offrir 30 différents modèles de véhicules autonomes de niveau 4 d'ici 2020 dans les villes de Beijing, Shanghai et Shenzhen et se tailler une place sur le marché international du partage de véhicules de niveau 4 dès 2021 [82]

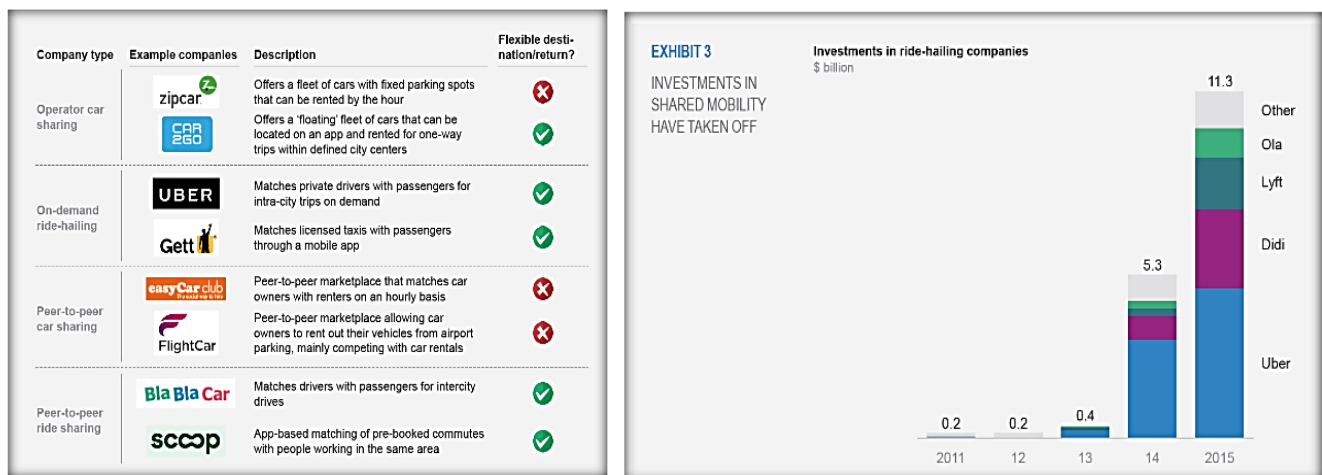


Figure 28 : Exemples de compagnies de partage et investissements financiers [3]

Plusieurs manufacturiers de l'industrie automobile ont récemment senti le besoin d'établir des relations économiques visant à promouvoir certains aspects du partage de trajets et de voitures. À titre d'exemple, la compagnie Ford a spécifiquement déclaré qu'un de leurs principaux objectifs était dorénavant de produire des voitures pour des services de partage tels que *Uber* et *Lyft*. *General Motors* serait en train de planifier son propre service de véhicules autonomes partagés : *Cruise*. *Volkswagon* aurait dernièrement investi plus de 300 millions de dollars afin de supporter la compagnie *Gett*, un futur concurrent de la compagnie *Uber* [14]. Preuve que les services de transport partagés risquent d'avoir une incidence notable sur les comportements de mobilité à venir.

En plus des compagnies privées qui proposent des systèmes de partage de voitures, des regroupements de particuliers commencent à s'unir afin de se partager une seule et même voiture, phénomène qui devrait prendre de l'ampleur avec l'utilisation des véhicules autonomes. Ainsi, en élaborant un horaire précis, les propriétaires peuvent s'entendre sur une procédure fonctionnelle et profiter des avantages de l'utilisation des voitures privées sans devoir assumer le coût individuel relatif à l'acquisition et à la maintenance d'une voiture privée [2]. C'est ce que la littérature nomme les véhicules autonomes de type communautaire semi-privé. Afin de favoriser cette utilisation partagée, de nouveaux modèles économiques sont mis de l'avant dans le but de faciliter le jumelage des usagers/propriétaires et ainsi maximiser l'utilisation de la mobilité autonome de partage. On soulève même la possibilité de jumeler des employés d'un même lieu de travail ou encore des résidents d'un même quartier. Comme le mentionnent les travaux effectués à l'*Université d'Illinois à Chicago* [80], les habitants de mêmes quartiers seraient plus susceptibles de partager des comportements communs de déplacement en raison de l'homogénéité de leurs attributs sociaux et économiques.

Les comportements de partage pourraient également être incités par des stratégies de tarification intelligente [36]. Si la tarification avantageuse arrivait à motiver les citoyens face à l'utilisation des services de transports partagés, les municipalités pourraient certainement noter de nombreux avantages quant à la mobilité collective. La capacité des routes serait bonifiée par la diminution du nombre de véhicules en circulation, le nombre de stationnements nécessaires serait amoindri et la qualité atmosphérique serait bonifiée [10]. Pour ce faire, plusieurs auteurs [14, 36] estiment que les municipalités devraient concevoir et mettre sur pied des incitatifs, notamment en diminuant les coûts reliés à l'utilisation des systèmes de partage et en augmentant les frais associés à l'utilisation du véhicule privé dans les centres urbains. De cette façon, il serait plus simple et surtout plus justifié de déployer des flottes de véhicules autonomes pouvant être utilisées comme service de mobilité partagée.

Une étude effectuée sur le territoire des États-Unis et de l'Allemagne [50] a tenté de définir les impacts de l'arrivée des véhicules autonomes sur les comportements de mobilité des personnes en fonction de la variation de l'utilisation des transports partagés. C'est en étudiant les données relevées à partir du *National Transportation Statistics*, adaptées aux projections d'évolution de la population, que les résultats de l'étude ont pu s'avérer significatifs. Pour ce faire, l'étude a proposé deux scénarios de projection pour 2035: l'un étant considéré comme suivant un modèle de développement conservateur (apparition des véhicules autonomes de niveau 5 en 2030, temps d'attente de la voiture partagée de 4 à 5 minutes et accessibilité à partir de 14 ans sans permis de conduire), l'autre suivant un modèle de développement plus extrême (apparition des véhicules autonomes de niveau 5 en 2025, temps d'attente de la voiture de 3 minutes et accessibilité à partir de 10 ans sans permis de conduire). Les résultats ont démontré une augmentation de l'utilisation des transports partagés pour chacune des deux projections. Dans le premier scénario, l'arrivée

des voitures autonomes de niveau 5 provoquerait une hausse du partage des véhicules de 7 % aux États-Unis et de 10 % en Allemagne pour 2035. Le deuxième scénario prévoyait plutôt une hausse de près de 30 % pour les États-Unis et près de 38 % pour l'Allemagne. La figure 29 présente respectivement les projections estimées pour chacun des scénarios étudiés.

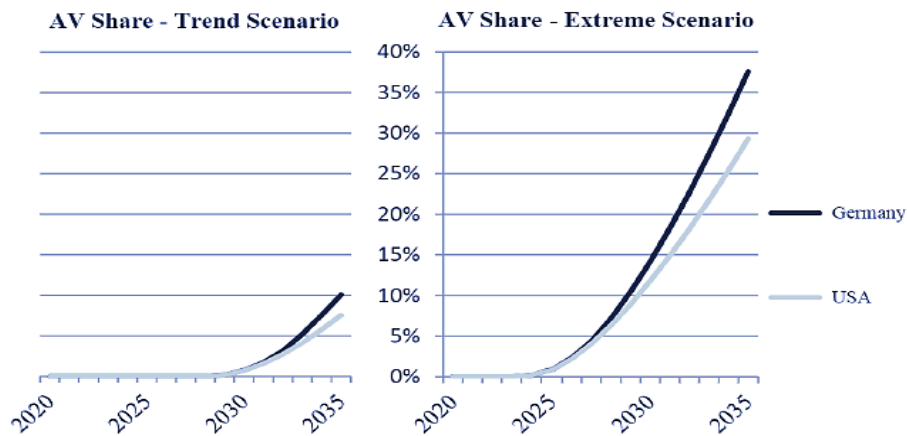


Figure 29 : Variation du nombre d'utilisateurs des véhicules autonomes partagés en Allemagne et aux États-Unis, projections pour 2035 [50]

Une étude réalisée sur le territoire métropolitain de la ville de Montréal [83] a été en mesure de retracer le nombre de voitures partagées appartenant aux fournisseurs *Communauto* et *Car2Go*. Les résultats ont démontré une progression à travers laquelle la compagnie *Communauto* aurait triplé le nombre de véhicules composant sa flotte de services entre 2007 et 2016, tandis que la compagnie *Car2Go* aurait plus que doublé sa flotte entre le moment de son arrivée sur le marché montréalais (2013) et 2016. La figure 30 illustre la progression dénombrée sur le marché des transports montréalais, tendance qui touche également la plupart des marchés internationaux.

Voitures en circulation ces quatre dernières années *

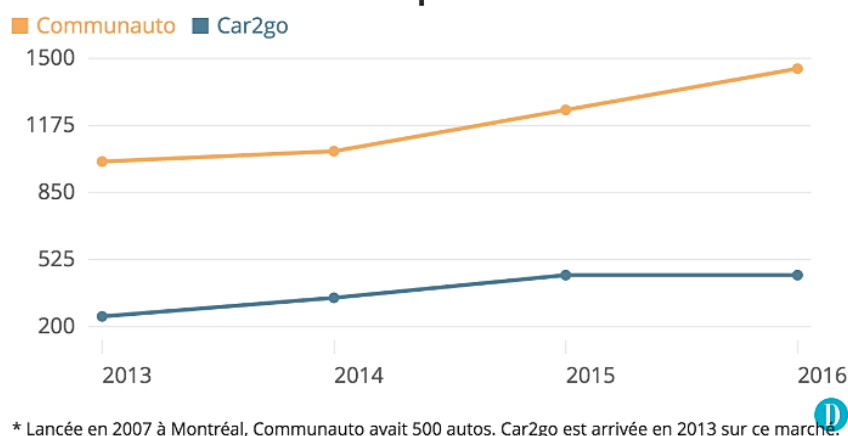


Figure 30 : Nombre de voitures appartenant aux compagnies Communauto et Car2Go en circulation dans la ville de Montréal [83]

L'Université Berkeley en Californie [83] a tenu à mesurer les impacts directs de l'augmentation de la flotte de voitures partagées *Car2Go* dans 5 villes nord-américaines (Vancouver, Calgary, San Diego, Washington D.C. et Seattle). Les résultats obtenus démontrent que pour chacune des 28 000 voitures partagées ajoutées sur les routes, une réduction de 7 à 11 voitures conventionnelles est estimée. De plus, les émissions de gaz à effet de serre auraient été réduites de 2200 à 10 000 tonnes par année pour chacune de ces villes étudiées, ce qui représente une diminution de 4 % à 18 % pour chacun des ménages utilisant les services *Car2Go*.

Un sondage d'intérêt public réalisé sur plus de 550 résidents de la région métropolitaine d'Austin au Texas, États-Unis [84], a également voulu comprendre les impacts qu'auraient les voitures autonomes sur les comportements de mobilité individuelle. En questionnant les répondants sur leurs intentions quant à la possession privée d'un véhicule autonome ou à l'utilisation de services de partage tels que *Uber* ou *Car2Go*, l'étude a été en mesure de démontrer que plus de la moitié des répondants (59 %) seraient attirés par la possession privée d'un véhicule autonome. Néanmoins, les 41 % restants seraient plutôt en faveur d'utiliser des services de partage, ce qui représente une nette augmentation relativement au nombre d'utilisateurs actuels de services de partage de voitures conventionnelles. Ainsi, selon ces travaux, les voitures autonomes auraient la capacité de modifier les comportements d'un bon nombre de personnes par l'offre de services de transports partagés.

Une étude effectuée auprès de répondants allemands [46] estime que l'automatisation des véhicules apporterait de nombreux bénéfices au transport partagé. Tout d'abord, elle estime que le temps de trajet serait plus court en utilisant les services d'autopartage de voitures autonomes que de voitures conventionnelles puisque l'utilisateur n'aurait aucun besoin de marcher ni d'utiliser les transports en commun afin de se rendre au point de prise en charge. Les services de transport partagé et automatisé offriraient une collecte porte-à-porte, ce qui n'est généralement pas le cas avec les services de partage actuels. De plus, bien que le temps passé à l'intérieur de la voiture serait essentiellement le même, le temps d'attente de la voiture autonome risquerait d'être particulièrement moins long que le temps d'attente requis pour

les services de partage avec voitures conventionnelles. Les simulations émises dans l'étude estiment que dans la majorité des cas, il nécessiterait environ une minute afin d'assurer la collecte de l'utilisateur avec des voitures autonomes partagées. De fait, les résultats démontrent que l'utilisation de services de transport partagé automatisés serait plus efficace que l'utilisation des services de partage conventionnels.

7.3 SERVICES DE MOBILITÉ SUR DEMANDE

Alors qu'aujourd'hui la plupart des particuliers achètent des véhicules pour leur utilisation personnelle, le développement de nouveaux services de transport, reposant notamment sur l'ajout de véhicules autonomes, pourrait conduire à une restructuration de ce modèle économique. Le secteur de l'automobile passerait alors progressivement d'une industrie de biens à une industrie de services. Voilà ce que propose la vision du MaaS : *Mobility as a Service* [58, 85]. Ce concept, apparu en 2014, décrit une stratégie émergente de réorganisation du système de transport actuel qui vise à rendre la mobilité individuelle et collective plus durable. C'est notamment en proposant des alternatives à la possession privée du véhicule que ce modèle s'appuie [58, 85]. Pour ce faire, l'idéologie propose de combiner différents types de services de mobilité, tels que les transports privés, les transports publics, les transports actifs et depuis peu, les transports effectués par véhicules autonomes, afin de les unir tous sous une offre de services unique, conviviale et facile d'utilisation [11, 55]. Évidemment, de nombreux défis sont à considérer avec la mise en place d'un système MaaS. Tout d'abord, l'acceptation d'une telle transformation doit inévitablement passer par un désir de changement d'habitudes, soutenu par l'ensemble des acteurs du domaine des transports [36]. Par la suite, l'intégration intermodale des différents moyens de transport en une seule offre de services peut générer de grandes complexités logistiques et fonctionnelles sur la route [11]. Puis, la transition entre l'ancien système et le système proposé doit être suffisamment réfléchie pour qu'elle puisse s'effectuer avec fluidité, sans quoi l'engorgement et l'efficacité du système routier en seraient lourdement affectés.

Concrètement, le concept MaaS souhaite rendre le transport le plus flexible et personnalisé possible. Il propose un service porte-à-porte multimodal, qui utilise une plateforme mobile intégrée de planification à paiement unique [6, 36, 86], sur laquelle on retrouve toutes les informations relatives aux modes de transport, aux modes de paiement et à la transmission des billets [11]. Cette même plateforme mobile permet de transformer le temps d'attente en un temps productif, et ce, en tenant le demandeur informé de la localisation réelle du moyen de transport choisi et de son heure exacte de collecte [36]. Divers autres concepts de mobilité partagent des points en commun avec cette vision, notamment l'écosystème de transport en action [13], le FMOD (*Flexible Mobility on Demand*), le TaaS (*Transportation as a Service*) et le AMoD (*Autonomous Mobility on Demand*) qui concerne principalement l'apport des véhicules autonomes dans une mobilité de services [7, 9, 13, 58, 86].

Les voitures autonomes pourraient tenir une place centrale dans cette nouvelle forme de mobilité de services. En raison de plusieurs éléments, dont l'absence d'attribution de salaires aux conducteurs, le rééquilibrage de la flotte en continu, la flexibilité des points de collecte et de dépôt, l'efficacité du temps de collecte, les faibles émissions polluantes, le confort, les commodités et les faibles coûts d'utilisation, les voitures autonomes sur demande (AMoD) pourraient littéralement représenter les fondements de l'offre de services de mobilité urbaine autour desquelles s'intégreraient différents autres modes de transport [48].

Les travaux du *Deloitte University Press*, portant sur le futur de la mobilité [13] définissent cette nouvelle vision de la mobilité de services et la nomment l'écosystème de transport en action. Cet écosystème, qui se divise en plusieurs étapes distinctes, est représenté par une simulation individuelle de retour à la maison après une journée passée au travail (figure 31). Tout d'abord, à la sortie du travail, la personne consulterait immédiatement l'application mobile responsable de la coordination des transports de la ville dans laquelle il se trouve. Aussitôt, de multiples options lui seraient présentées en fonction de l'heure de son départ et de la disponibilité des différents moyens de transport offerts à proximité. Après avoir fait son choix, la personne effectuerait un seul paiement via l'application mobile et recevrait un seul billet électronique, lui permettant d'accéder à tous les moyens de transport prévus sur son parcours de retour à la maison. En route, la personne en profiterait pour faire quelques emplettes virtuelles sur l'application mobile réservée à cet effet. Elle pourrait donc acheter tous les produits nécessaires à la confection de son souper et même d'autres objets usuels, en fonction de ses besoins immédiats. Une fois rendue dans le lieu de transit sélectionné, la personne collecterait le sac prêt-à-emporté contenant l'ensemble des objets commandés en chemin. Finalement, la personne terminerait les derniers kilomètres qui la séparent de sa maison à bord d'un véhicule autonome partagé, où elle pourrait interagir avec les autres passagers ou encore utiliser les interfaces technologiques disponibles dans le véhicule afin de finaliser certaines tâches reliées au travail ou simplement pour se divertir.

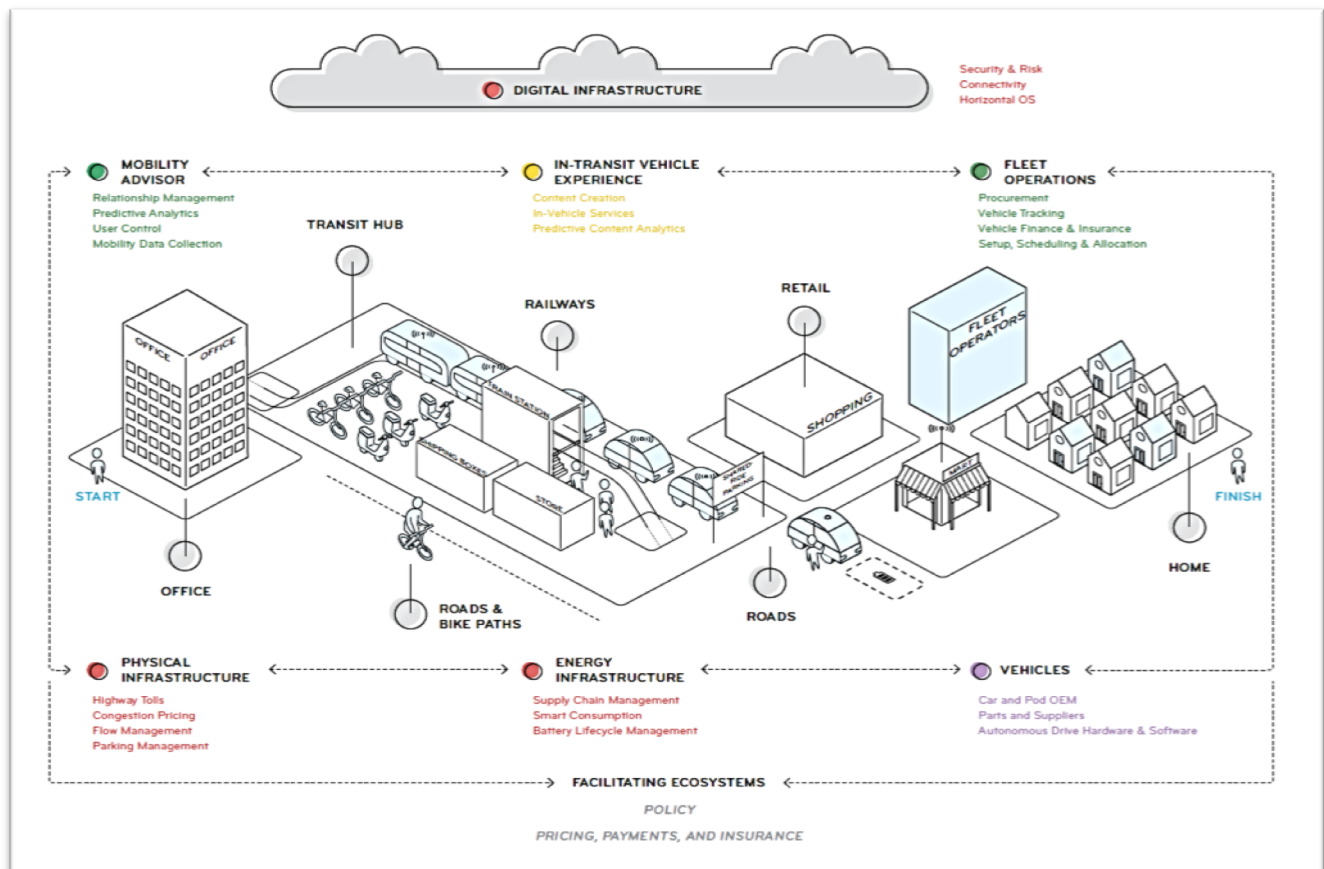


Figure 31 : Écosystème de transport en action [13]

Des chercheurs notent également que l'avènement de services de mobilité automatisés sur demande pourrait devenir une opportunité pour les utilisateurs de faire appel à des types de véhicules différents et complémentaires [77]. Au lieu de se contenter d'une seule voiture pour effectuer l'ensemble de leurs déplacements, les usagers pourraient avoir recours à de nombreux types de véhicules. Ainsi, au moment de la demande de services, les usagers pourraient choisir l'option la plus optimale en fonction du type de déplacement dont il serait question : voiture de luxe, voiture tout terrain, voiture de plaisance, voiture spacieuse, voiture restreinte, etc. Or, sans devoir posséder ni même louer le véhicule, de multiples options seraient offertes aux utilisateurs de la plateforme de services afin de répondre convenablement aux nombreuses contraintes individuelles. La figure 32 illustre en premier lieu la proportion moyenne de temps réservé à chacune des principales utilisations que l'on fait actuellement avec la majorité des voitures privées. En second lieu, cette figure fait la démonstration des choix susceptibles d'être offerts par des plateformes de services autonomes sur demande à l'aube de 2030.

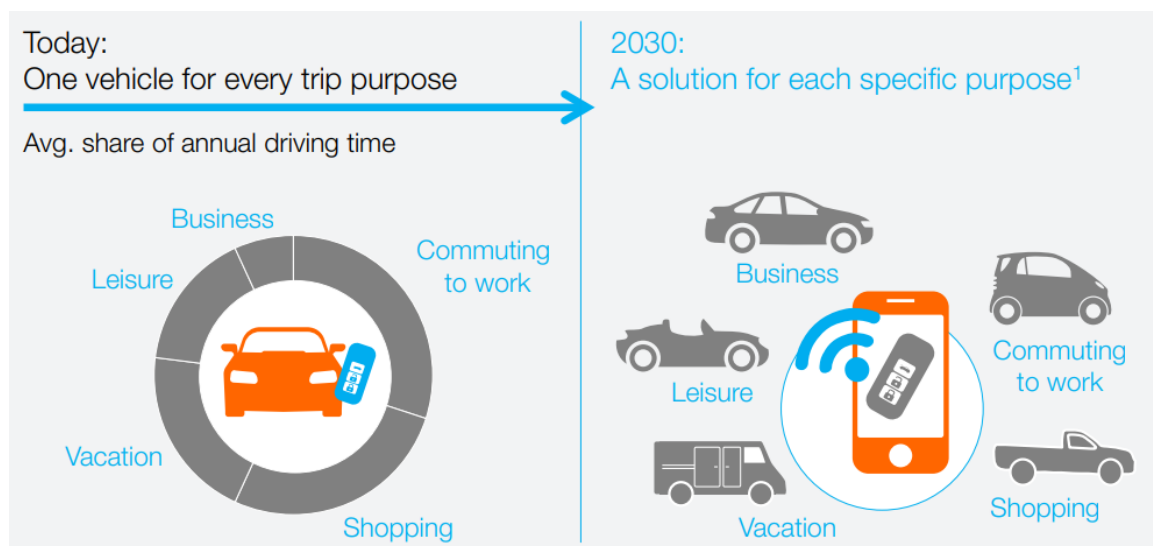


Figure 32 : Solution de mobilité optimale à chacun des déplacements spécifiques [77]

Selon plusieurs auteurs [11, 13, 36, 55, 58, 86, 87], le changement des habitudes de mobilité nécessaire à l'intégration des véhicules autonomes sur la route devrait inévitablement s'effectuer par la mise en place d'un système de services. Ainsi, il serait possible de diminuer l'utilisation de la voiture privée au profit de l'émergence d'un système de transport durable qui prioriserait l'utilisation de la voiture autonome partagée [58]. Cependant, pour y parvenir, les usagers du système de transport, le secteur privé et les instances gouvernementales publiques devraient s'unir et collaborer afin de créer un nouveau modèle de transport efficace qui répondra aux besoins des usagers tout en respectant les limites du réseau de transport [74].

7.4 CONCLUSION

Plusieurs éléments technologiques, tels que la disponibilité des informations en temps réel, le paiement électronique, les outils de planification de trajets, etc. ont été identifiés comme étant des éléments qui influencent les comportements de mobilité des usagers du système routier [46]. Ces éléments technologiques permettent notamment aux usagers d'évaluer les performances des options de mobilité offertes pour chaque déplacement et influencent leur processus décisionnel en fonction du mode de transport à prioriser. Selon la littérature, l'utilisation de la voiture autonome risque de modifier les comportements de mobilité puisqu'elle permettra de répondre aux nombreux facteurs d'influence dans la prise de décision [74].

Les études récentes démontrent que la montée de l'offre des services de transport partagé dans les milieux urbains stimule l'utilisation du partage des voitures [3, 7, 14, 80, 83, 82]. De plus en plus d'usagers du réseau routier prennent la décision de délaissier leur voiture personnelle au profit de l'utilisation de services de partage. L'apparition des voitures autonomes de niveau 5 devrait encourager cette tendance avec l'offre de services suivant le principe AMoD (Autonomous Mobility on Demand) [46, 48].

L'offre de services de mobilité sur demande (MaaS) incluant l'utilisation de voitures autonomes, risque de rendre le transport individuel plus flexible et plus personnalisé [6, 11, 13, 36, 48, 55, 58, 85, 86]. Cela devrait permettre aux utilisateurs des plateformes offertes de se trouver des alternatives à la possession privée de véhicules [77]. De plus, l'offre de services de mobilité pourrait devenir une occasion d'utiliser des véhicules variés et complémentaires [77], permettant ainsi de répondre aux besoins spécifiques de l'utilisateur/consommateur.

Le tableau qui suit reprend l'essentiel des informations émises dans la section 7 en relevant les enjeux, les défis, les menaces et les opportunités reliés aux comportements de mobilité avec l'utilisation des véhicules autonomes. De plus, ce même tableau relève les principales tendances soulevées par la section.

Tableau 11 : Sommaire de la section 7

	Enjeux	Défis	Menaces	Opportunités
Comportements de mobilité	- Différentes technologies permettent d'évaluer les options de mobilité - Les VAE avantageux pour tous les facteurs qui influencent les comportements de mobilité - Augmentation de la popularité du transport partagé à la demande - Investissements et intérêt dans la mobilité de services.	- Augmentation probable de la demande en transport avec les VAE - Concurrence des options de mobilité VAE avec les transports publics - Possession privée des VAE	- Augmentation de la demande - Possession privée des VAE - Absence de partenariats entre les acteurs du transport public et privé pour mieux gérer les nouveaux défis relatifs à l'offre de services de transport incluant les VAE	- Plus grande popularité attendue du transport partagé - Réduction du nombre de véhicules conventionnels privés en présence de VAE partagés - Nouveaux services de mobilité (MaaS) avec VAE - Opportunité pour l'utilisation des systèmes de partage utilisant les VAE
	Principales tendances			
	- Comportements de mobilité appelés à changer avec les VAE avec une hausse probable de la demande - Plusieurs investissements privés dans les services de partage et apparition de nouvelles relations économiques impliquant l'industrie automobile pour promouvoir le partage de trajets et de voitures avec les VAE - Augmentation projetée de l'offre de services et du nombre d'utilisateurs des plateformes de transport partagé avec les VAE - Création de plateformes de services de mobilité sur demande incluant les VAE			

8. CONCLUSION

Certes, l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier risque de provoquer plusieurs bouleversements. C'est notamment le cas pour les habitudes et les comportements de mobilité des usagers du système de transport routier. En regroupant les conditions optimales, de nombreux gains pourraient être réalisés avec l'adoption des voitures autonomes, incluant la diminution du nombre de voitures par ménage, la diminution du nombre de voitures sur la route et l'augmentation du nombre d'utilisateurs des systèmes de partage. D'un autre côté, l'adoption des véhicules autonomes serait également susceptible de provoquer une augmentation des distances de déplacement, une augmentation du nombre de kilomètres parcourus par véhicule, une augmentation du nombre d'utilisateurs du réseau routier ainsi qu'une diminution de l'utilisation de certains modes de transport tels que la marche, le vélo et les transports en commun.

Les décisions prises quant à la réorganisation du système de transport et par conséquent, à la façon dont les véhicules autonomes seront implantés sur les territoires urbains seront déterminantes dans le processus de modification des habitudes de mobilités des personnes. Il en revient à mettre en place l'ensemble des éléments favorables à cette transition afin de la rendre la plus profitable possible. Ces décisions devront alors se baser sur un modèle de transition qui tiendra compte de l'ensemble des usagers du système de transport et qui proposera des scénarios d'optimisation à l'égard de la mobilité collective.

Ce rapport a soulevé un bon nombre de projets d'applications et de simulations dans l'intention de prédire les futurs comportements de mobilité associés à l'utilisation des véhicules autonomes. En explorant les possibilités relevées par la communauté scientifique et les firmes de consultation, ce travail a pu relever plusieurs de ces comportements. C'est notamment en s'interrogeant sur les distances de déplacement, le volume de circulation, les modes de transport et les transferts modaux, la cohabitation transport public et privé, le taux de possession des véhicules ainsi que sur les comportements de mobilité qu'il a été possible de relever l'information relative aux multiples objectifs émis par cette phase du projet de recherche.

Bien que plus d'une centaine de documents aient été consultés pour la rédaction de ce rapport, plusieurs questionnements demeurent évasifs ou même irrésolus. La vitesse à laquelle les recherches sur le domaine se multiplient laisse envisager que les travaux à venir et la multiplication des essais routiers pourront éclairer les problématiques restées en suspens.

Le tableau qui suit émet une synthèse des principales informations retenues tout au long du rapport. Il s'avère un outil pertinent pour retracer l'information préalablement soulevée dans le texte. Chacune des sections y est présentée, accompagnée des principales tendances susceptibles de se produire avec l'arrivée des véhicules autonomes sur le réseau routier.

À partir de ces informations et celles soulevées dans les phases antérieures, il sera maintenant possible d'amorcer la quatrième et dernière étape de ce projet de recherche. Celle-ci permettra de formuler des recommandations adaptées à la région métropolitaine de Montréal dans l'optique de soutenir la prise de décision en matière d'utilisation et d'adaptation du territoire urbain et des infrastructures municipales en vue de l'utilisation des véhicules autonomes.

Tableau 12 : Synthèse des principales tendances

Section du rapport	Principales tendances
Distances de déplacement	• Diminution de la perception du temps passé dans les transports • Diminution du temps nécessaire aux déplacements (exception de la période de transition) • Augmentation des distances de déplacement en utilisation privée des VAE • Augmentation du nombre de kilomètres parcourus par véhicule
Volume de circulation	• Augmentation projetée de la demande (nouveaux usagers) • Augmentation du volume de circulation (nouveaux usagers + circulation à vide) • Circulation à vide est le facteur qui contribue le plus à l'augmentation du volume de circulation • Le volume de circulation peut être réduit avec les systèmes de partage et des stratégies proactives de redistribution des VAE partagés
Modes de transport et transfert modal	• Diminution de l'utilisation des modes de transport suivants : marche, vélo, transports en commun et avion • Augmentation de l'utilisation de la voiture autonome particulièrement en mode urbain et périurbain • Progression d'une utilisation privée vers un système de partage • Un système de mobilité autonome partagée sur demande favorise une utilisation des modes de transport public et actif
Cohabitation du transport public et privé	• Augmentation projetée du nombre d'utilisateurs des voitures privées / Diminution du nombre d'utilisateurs des transports publics • Modification et adaptation des transports publics en vue de l'intégration des technologies automatisées • Développement de partenariats public-privé dans plusieurs secteurs associés aux VAE
Taux de possession des véhicules	• Disponibilité des VAE prévue pour 2030 • Coût moyen des VAE passablement plus grand que celui des véhicules conventionnels • Coût d'utilisation des VAE partagés plus avantageux que des services de mobilité actuels • Augmentation probable de l'utilisation des services de transport autonomes partagés • La majorité des consommateurs seraient prêts à payer 7000 \$ et moins pour la technologie des VAE • Réduction probable du nombre de voitures par ménage suite à l'adoption des VAE
Comportements de mobilité	• Comportements de mobilité appelés à changer avec les VAE avec une hausse probable de la demande • Plusieurs investissements privés dans les services de partage et apparition de nouvelles relations économiques impliquant l'industrie automobile pour promouvoir le partage de trajets et de voitures avec les VAE • Augmentation projetée de l'offre de services et du nombre d'utilisateurs des plateformes de transport partagé avec les VAE • Création de plateformes de services de mobilité sur demande incluant les VAE

RÉFÉRENCES

- [1] Chehri, A. and Mouftah, H. (2019) Autonomous vehicles in the sustainable cities, the beginning of a green adventure. *Sustainable Cities and Society*, 8 p.
- [2] Bahamonde-Birke, F. J., Kickhöfer, B., Heinrichs, D. and Kuhnimhof, T. (2018) A Systemic View on Autonomus Vehicules. *disP – The Planning Review*, 15 p.
- [3] 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.
- [4] Davidson, P. and Spinoulas, A. (2015) Autonomous Vehicles – What Could This Mean for The Future of Transport? *AITPM 2015 National Conference*, 15 p.
- [5] Meyer J., Becker H., Bösch P. and Axhausen K. W. (2017) Autonomous Vehicles: The Next Jump in Accessibilities? *Research in Transportation Economics*, 35 p.
- [6] 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.
- [7] Wen, J., Nassir, N. and Zhao, J. (2019) Value of demand information in autonomous mobility-on-demand systems. *Transportation Research Part A*, 14 p.
- [8] Shaheen, S., Totte, H. and Stocker, A. (2018) Future of Mobility White Paper. California Transportation Plan 2050, 127 p.
- [9] Herrmann, A., Brenner, W. and Stadler, R. (2018) Autonomous Driving: How the Driverless Revolution Will Change the World. *Emerald insight Publishing*, 461 p.
- [10] Medina-Tapia, M. and Robusté, F. (2018) Exploring paradigm shift impacts in urban mobility: Autonomous Vehicles and Smart Cities. *Transportation Research Procedia*, 8 p.
- [11] 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.
- [12] Kloostra, 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.
- [13] Corwin, S., Jameson, N., Pankratz, D. and Willigmann, P. (2016) The future of mobility: What's next? *Deloitte University Press*, 28 p.
- [14] 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.
- [15] 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.

- [16] Rothnie, A., Buffer, S. and Ghojeh, M. (2016) Urban Streets in the Age of Connected and Autonomous Vehicles. Burohappold Engineering, Global Design Sprint, 27 p.
- [17] Carrese, S. Nigro, M. Patella, S.R. and Toniolo, E. (2019) A preliminary study of the potential impact of autonomous vehicles on residential location in Rome. Research in Transportation Economics, 7 p.
- [18] Millard-Ball, A. (2017) Pedestrians, autonomous vehicles and cities. Journal of Planning Education and Research, 15 p.
- [19] Sun, Y., Olaru, D., Smith, B., Greaves, S. and Collins, A. (2016) Road to autonomous vehicles in Australia: A comparative literature review. Australasian Transport Research Forum, 16 p.
- [20] Correia, G., Looft, E., Cranenburgh, S., Snelder, M. and Arem, B. (2019) On the impact of vehicle automation on the value of travel time while performing work and leisure activities in a car: Theoretical insights and results from a stated preference survey. Transportation Research Part A, 24 p.
- [21] LaMondia, J.J., Fagnant, D.J., Qu, H., Barrett, J. and Kockelman, K. (2015) Long-Distance Travel Mode Shifts Due to Automated Vehicles: A Statewide Mode-Shift Simulation Experiment and Travel Survey Analysis. 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 17 p.
- [22] Auld, J., Sokolov, V. and Stephens, T. (2016) Analysis of the impacts of CAV technologies on travel demand. Argonne National Laboratory, 16 p.
- [23] Zhao, Y. and Kockelman, K.M. (2018) Anticipating the regional impacts of connected and automated vehicle travel in Austin, Texas. International Journal of Sustainable Transportation, 13 p.
- [24] 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.
- [25] Corporate Partnership Board Report (2015) Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic? International Transport Forum, 36 p.
- [26] Llorca, C., Moreno, A. and Moeckel, R. (2017) Effects of Shared Autonomous Vehicles on the Level of Service in the Greater Munich Metropolitan Area. International Conference on Intelligent Transport Systems in Theory and Practice, 9 p.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Zhang, W. (2017) The interaction between land use and transportation the era of shared autonomous vehicles: a simulation model. Georgia Institute of Technology, 159 p.
- [30] 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.

- [31] Hidaka, K. and Shiga, T. (2018) Forecasting travel Demand for New Mobility Services Employing Autonomous Vehicles. *Transportation Research Procedia*, 8 p.
- [32] Thakur, P., Kinghorn, R. and Grace, R. (2016) Urban form and function in the autonomous era. *Australian Transport Research Forum 2016 Proceedings*, 15 p.
- [33] Dias, F.F., Nair, G.S., Ruiz Juri, N., Bhat, C.R. and Mirzaei, A. (2019) Incorporating Autonomous Vehicles in the Traditional Four Step Model: A Case Study in Dallas-Fort Worth. Technical paper, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Texas, 20 p.
- [34] Loro, A. (2016) Planning for automated vehicles in Edmonton: Final report. Antonio Loro Consulting Inc., 146 p.
- [35] 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.
- [36] Alazzawi, S., Hummel, M., Kordt, P., Sickenberger, T., Wieseotte, C. and Wohak, O. (2018) Simulating the Impact of Shared, Autonomous Vehicles on Urban Mobility – A case Study of Milan. *EPiC Series in Engineering*, 17 p.
- [37] 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.
- [38] Ticoll, D. (2015) Driving Changes: Automated Vehicles in Toronto. *Munk School of Global Affairs: University of Toronto*, 71 p.
- [39] Bloomberg Philanthropies (2017) Taming the Autonomous Vehicle: A Primer for Cities. Produced by Bits and Atoms for Bloomberg Philanthropies, 43 p.
- [40] 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.
- [41] Harper, C.D., Hendrickson, C.T., Mangones, S. and Samaras, C. (2016) Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. *Transportation Research Part C*, 9 p.
- [42] Lee, Y. and Mirman, J. (2018) Parent's perspectives on using autonomous vehicles to enhance children's mobility. *Transportation Research Part C*, 17 p.
- [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] 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.

- [45] Kockelman, K., Huang, Y. and Quarles, N. (2019) The Rise of Long-Distance Trips, in a World of Self-Driving Cars: Anticipating Trip Count and Evolving Travel Patterns Across the Texas Triangle Megaregion. *Cooperative Mobility of Competitive Megaregions*, 33 p.
- [46] Pakusch, C., Stevens, G., Boden, A. and Bossauer, P. (2018) Unintended Effects of Autonomous Driving: A Study on Mobility Preferences in the Future. *Sustainability Journal*, 22 p.
- [47] Ashkrof, P., Homem, G., Correia, A., Cats, O. and Van Arem, B. (2019) Impact of Autonomous Vehicles on Travel Mode Preference for Different Trip Purposes and Distances. *Transportation Research Record*, 10 p.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] Kröger, L., Kuhnimhof, T. and Trommer, S. (2016) Modelling the impact of automated driving: Private autonomous vehicle scenarios for Germany and the US. *European Transport Conference*, 15 p.
- [51] Lewin, M.W. and Boyles, S.D. (2015) Effects of autonomous vehicle ownership on trip, mode, and route choice. *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 25 p.
- [52] Bösch, P., Becker, F., Becker, H. and Axhausen, K. W. (2018) Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy*, 16 p.
- [53] Beirigo, B. A., Schulte, F. and Negenborn, R. R. (2018) Integrating People and Freight Transportation Using Shared Autonomous Vehicles with Compartments. *International Federation of Automatic Control*, 6 p.
- [54] 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.
- [55] Smith, C. (2016) Turning Transportation: Challenges and Opportunities Presented to the City of Vancouver by Autonomous Vehicles. *University of British Columbia: School of Community and Regional Planning*, 93 p.
- [56] Tousignant, M-A., Côté, M., Kalache, K., Barnet, M., Saunier, N. and Bélisle, F. (2018) Services professionnels pour la ville de Montréal face à la question des véhicules connectés et autonomes dans le cadre de la mise à jour du Plan de Transport 2008. *CIMA partenaire de génie*, 110 p.
- [57] Owczarzak, L. and Zak, J. (2015) Design of passenger public transportation solutions based on autonomous vehicles and their multiple criteria comparison with traditional forms of passenger transportation. *Transportation Research Procedia*, 11 p.
- [58] Utriainen, R. and Pöllänen, M. (2018) Review on mobility as a service in scientific publications. *Research in Transportation Business & Management*, 9 p.

- [59] 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.
- [60] Meyhofer, E. (2018) Uber and Toyota Team Up on Self-Driving Cars. Uber Newsroom: <https://www.uber.com/newsroom/uber-toyota-team-self-driving-cars/>
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] Iwasaki, R.H. and Holcomb, K. (2018) Autonomous Mobility: Operators/Private-Public Partnerships/Sustainability. Mass Transit Magazine, 5 p.
- [64] Farmer, D-L. (2016) Autonomous Vehicles: The Implications on Urban Transportation and Traffic Flow Theory. Ite Journal, 5 p.
- [65] Canadian Council of Motor Transport Administrators (2016) White Paper: Automated Vehicles in Canada. CCMTA/CCATM, 58 p.
- [66] Currie, G. (2018) Lies, Damned Lies, AVs, Shared Mobility, and Urban Transit Futures. Journal of Public Transportation, 12 p.
- [67] Bucher, M. (2017) Self-Driving Shuttles: The Future is Autonomous. 2017 UITP Global Public Transport Summit, 2 p.
- [68] Lutin, J.M. (2018) Not if, but When: Autonomous Driving and the Future of Transit. Journal of Public Transportation, 12 p.
- [69] Penmetsa, P., Adanu, E. K., Wood, D., Wang, T. and Jones, S. L. (2019) Perceptions and expectations of autonomous vehicles – A snapshot of vulnerable road user opinion. Technological Forecasting & Social Change, 5 p.
- [70] Litman, T. (2017) Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Victoria Transport Policy Institute, 28 p.
- [71] Duarte, F. and Ratti, C. (2018) The Impact of Autonomous Vehicles on Cities: A Review. Journal of Urban Technology, 17 p.
- [72] Kyriakidis, M., Happee, R. and de Winter, J.F.C. (2015) Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5,000 respondents. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 26 p.
- [73] American Automobile Association (2017) Your Driving costs, American Automobile Association: <https://publicaffairsresources.aaa.biz/YDC/html5/index.html>
- [74] Polzin, S.E. (2016) Implications to Public Transportation of Emerging Technologies. NCTR: National Center for Transit Research, 23 p.
- [75] Berrada, J. and Leurent, F. (2017) Modeling Transportation Systems involving Autonomous Vehicles: A State of the Art. Transportation Research Procedia, 7 p.

- [76] Schoettle, B. and Sivak, M. (2015) Potential Impact of Self-Driving Vehicles on Household Vehicle Demand and Usage. University of Michigan: Transportation and Research Institute, 18 p.
- [77] Mohr, D., Kass, H.W., Gao, P., Wee, D. and Moller, T. (2016) Automotive revolution – perspective towards 2030: How the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry. McKinsey&Compagny, 20 p.
- [78] Vijay, G., Kirk, B., Godsmark, P. and Flemming, B. (2015) Automated Vehicles: The Coming of the Next Disruptive Technology. Ottawa: The Conference Board of Canada, 66 p.
- [79] Menon, N., Bardour, N., Zhang, Y., Pinjari, A.R. and Mannering, F. (2018) Shared autonomous vehicles and their potential impacts on household vehicle ownership: An exploratory empirical assessment. International Journal of Sustainable Transportation, 13 p.
- [80] 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.
- [81] Haboucha, C.J., Ishaq, R. and Shiftan, Y. (2017) User preferences regarding autonomous vehicles. Transportation Research Part C, 13 p.
- [82] Horwitz, J. (2019) Didi Chuxing to launch self-driving pick up service in China, plan to expand abroad. Reuters Technology News: <https://www.reuters.com/article/us-china-tech-didi-chuxing/chinas-didi-chuxing-to-launch-self-driving-pickup-service-in-shanghai-idUSKCN1VK0FN>
- [83] 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>
- [84] Zmud, J.P. and Sener, I.N. (2016) Towards as Understanding of the Travel Behavior Impact of Autonomous Vehicles. Transportation Research Procedia, 20 p.
- [85] The City of Calgary (2017) Future of Transportation in Calgary. The City of Calgary Transportation Department and Calgary City Council, 120 p.
- [86] Szigeti, S., Csiszàr, 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.
- [87] 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.



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

www.kheops.ca