

Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Faculté des Sciences
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Analyse des impacts en matière de mobilité et d'environnement de la voiture autonome.

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par
NIEUWLAND Benjamin
Année Académique : 2016-2017

Directeur : Professeur Frédéric DOBRUSZKES

Résumé

Les véhicules autonomes font partie de l'imaginaire collectif lié au développement et à l'expansion de la voiture individuelle depuis les années cinquante. Longtemps synonyme de liberté, la voiture est devenue au fil du temps un problème quotidien pour de nombreux utilisateurs en raison de la congestion et même de la saturation du réseau routier.

Les développeurs travaillent à la concrétisation de logiciels capables de remplacer les conducteurs avec pour objectifs : fluidifier le trafic, supprimer la congestion, les accidents, réduire l'impact de notre mobilité sur la santé, mais aussi sur l'environnement. Faire disparaître les alignements de voitures garées le long des trottoirs. La voiture autonome serait porteuse d'un changement de paradigme.

Ce travail a cherché à vérifier ces informations et, bien que la technologie soit encore en phase de développement, à analyser du point de vue de la mobilité et de l'environnement l'impact potentiel du développement et de la généralisation des voitures autonomes.

Il apparaît que l'amélioration de la sécurité et le gain de place en ville sont partiellement atteignables sous certaines conditions. En ce qui concerne les impacts sur la conduite, la voiture autonome semble pouvoir diminuer, voire supprimer, les contraintes limitant naturellement la conduite : plus de nécessité d'avoir un permis de conduire, le temps de conduite se transforme en temps de loisirs, la recherche d'une place de parking est déléguée au véhicule. Cette libération aura comme conséquence une augmentation forte des flux de mobilité, annulant largement les gains potentiels escomptés au niveau de la mobilité.

En ce qui concerne l'environnement, des gains en matière de consommation sont envisageables mais ils sont eux aussi annulés par l'augmentation du trafic.

Nous avons pu mettre en évidence que les éléments positifs pour la mobilité, comme le partage des véhicules et le covoiturage, sont des tendances indépendantes de la voiture autonome et que, si la voiture autonome (VA) peut aider à la généralisation de ces systèmes, elle a pour effet notable d'en supprimer les avantages collectifs (réduction de l'utilisation,...) au profit d'avantages individuels (disponibilité et accessibilité).

Au final, la voiture autonome, en tant que technologie, ne semble pas porter en elle de solution aux problèmes de la mobilité.

Table des matières

1. INTRODUCTION	7
1.1. Problématique de recherche	7
1.1.1. Faut-il envisager l'introduction de cette technologie ?	7
1.1.2. Quel est l'intérêt de discuter maintenant des véhicules autonomes (VA) ?	7
1.2. Méthodologie	7
1.2.1. Revue de la littérature	7
1.2.2. Rédaction du mémoire	8
2. SITUATION EXISTANTE	9
2.1. Introduction	9
2.2. Définition du terme : voiture autonome, de quoi parle-t-on ?	9
2.2.1. Définition « voiture autonome »	9
2.2.2. Niveau d'autonomie	9
2.3. À quelle échéance et comment faut-il envisager l'introduction de cette technologie sur le marché ?	11
2.3.1. À quelle échéance peut-on attendre la voiture autonome ?	12
2.3.2. Définition des phases d'introduction sur le marché	13
2.3.3. Conclusion de la partie sur l'apparition et la diffusion de la VA	17
2.4. Conclusion	18
3. IMPACT EN SITUATION PROJETÉE	19
3.1. Introduction	19
3.1.1. Méthodologie	20
3.2. Impact d'un point de vue de la mobilité	21
3.2.1. La problématique de la mobilité	22
3.2.2. Impact en termes de capacité des routes	24
3.2.3. modification des habitudes d'utilisation	33
3.2.4. Impact en termes de coûts	42
3.2.5. Conclusion de la partie impacts sur la mobilité	46
3.3. Impact d'un point de vue environnemental	48
3.3.1. La problématique de l'environnement	48
3.3.2. Impact de l'augmentation du trafic	49
3.3.3. Diminution de la consommation et de la pollution	50
3.3.4. conclusion de la partie environnement	56
3.4. Conclusion	59
4. DISCUSSION	60
4.1. Introduction	60
4.2. Conditions	60
4.2.1. Première condition : La voiture autonome sera partagée.	61

4.2.2. Deuxième condition : la compatibilité.....	65
4.2.3. Troisième condition : la voiture autonome induira le co-voiturage	67
4.3. Conclusion	68
5. SCÉNARIOS.....	70
5.1. Scénario mobilité.....	70
5.1.1. Analyse détaillée des scénarios Ville	74
5.1.2. Analyse détaillée des scénarios autoroute.....	75
5.2. Scénario environnement.....	76
5.3. Conclusion	78
6. CONCLUSION.....	79
7. SOURCES CONSULTÉES.....	82
7.1. Bibliographie.....	82
8. ANNEXE	88

Liste des tableaux

Tableau 1 : Impact de la démographie sur la demande de mobilité. Source : Nieuwland 2017.....	23
Tableau 2 : Variation capacité de la route en %. Source : Nieuwland 2017.	26
Tableau 3 : Variation de la capacité des routes en fonction de la diminution du nombre d'accidents (en %) Source : Nieuwland 2017	29
Tableau 4 : Variation du trafic (en %) en fonction de l'amélioration de la gestion du trafic. Source : Nieuwland 2017.....	34
Tableau 5 : Variation du trafic (en %) en fonction de l'amélioration à l'accès à la mobilité (sans permis). Source : Nieuwland 2017	37
Tableau 6 : variation du trafic en fonction de l'augmentation des VMT. Source : Nieuwland 2017	39
Tableau 7 : Variation du trafic (en %) en raison des voyages à vide. Source : Nieuwland 2017.....	41
Tableau 8 : Récapitulatif impact environnement. Source : Nieuwland 2017	57

Liste des figures

Figure 1 Synthèse des différents niveaux d'automatisation. Source : Asconchilo, 2015.....	11
Figure 2 : Adoption des inventions de plus en plus rapides. Source : Davidson et Spinoulas 2015	15
Figure 3 : Courbe de diffusion de la VA. Source : Shanker et al., 2013	16
Figure 4 : Scénario de diffusion KPMG. Source KPMG 2012	16
Figure 5 : Accroissement population Bruxelles.Source : IBSA cahiers_ibsa_n_6_octobre_2016	22
Figure 6 : Débit d'une route en fonction de la vitesse. Source : Peterson, 2015	24
Figure 7 : Différents gains potentiels de capacité. Source : van den Berg et Verhoef 2015	26
Figure 8 : Capacité sur autoroute en fonction du taux de pénétration. Source : Bierstedt et al. 2014.....	26
Figure 9 : Taux de possession permis conduire. Source Beldam 2010	36
Figure 10 : Taux possession par âge. Source : Beldam 2010.....	36
Figure 11 : Population Bruxelloise par âge. Source IBSA.....	36
Figure 12 : Augmentation VMT Source: Bierstedt et al., 2014.....	38
Figure 14 Possession voiture. Source : Martin et al. 2010	61
Figure 15 Amélioration de la capacité suivant le % de véhicule communicant/autonome Source : Tientrakool et al., 2011	65
Figure 16 Scénario Ville Aucune condition. Source : Nieuwland 2017.....	72
Figure 17 Scénario Ville Condition compatibilité remplie. Source : Nieuwland 2017.....	72
Figure 18 Scénario Ville Compatible et co-voiturage. Source : Nieuwland 2017.....	72
Figure 19 Scénario Autoroute Aucune condition. Source : Nieuwland 2017.....	73
Figure 20 Scénario Autoroute Condition compatibilité remplie. Source : Nieuwland 2017.....	73
Figure 21 Scénario Autoroute Compatible et covoiturage 100%. Source : Nieuwland 2017	73
Figure 22 : Scénario Environnement 2030 – 2050 sans VA. Source : Nieuwland 2017	76
Figure 23 : Scénario Environnement 2030 – 2050 avec VA. Source : Nieuwland 2017	77

1. INTRODUCTION

La voiture autonome est une innovation technologique, présentée comme la solution aux problèmes de mobilité et ce au niveau de la sécurité, de la congestion des routes et de l'environnement. Ce travail a pour objectif de faire le point sur les avantages et les inconvénients de cette technologie. Il se divise en six parties.

La première partie est constituée de la présente introduction. La seconde partie campe le décor : qu'entend-on par une VA, à quel moment apparaîtra cette technologie et combien de temps prendra sa diffusion. La troisième partie s'attachera à étudier l'impact de la VA en terme de mobilité et sur l'environnement. La quatrième partie discutera des conditions mises en évidence dans la partie trois. La cinquième partie cherchera à compiler les informations récoltées dans différents scénarios. Le travail se terminera par une série de recommandations politiques et par les aspects non traités dans ce travail qui mériteraient un approfondissement ultérieur.

1.1. PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

1.1.1. FAUT-IL ENVISAGER L'INTRODUCTION DE CETTE TECHNOLOGIE ?

Les nouvelles technologies ont une aura particulière dans notre société, elles sont porteuses d'espoir et synonymes de progrès. Il est cependant nécessaire pour un scientifique de les regarder d'un point de vue neutre, afin d'aider les pouvoirs politiques à déterminer si oui ou non il s'agit d'une technologie à soutenir et/ou à encadrer juridiquement. Nous tenterons de répondre à cette question en nous appuyant sur la littérature existante.

Définition du lectorat : Ce travail a été élaboré à destination du monde scientifique et politique.

1.1.2. QUEL EST L'INTÉRÊT DE DISCUTER MAINTENANT DES VÉHICULES AUTONOMES (VA) ?

Les VA sont déjà en phase de tests sur nos routes, les constructeurs annoncent les premières commercialisations dans les prochaines années. Il est donc important, pour les pouvoirs publics, de disposer d'analyses scientifiques sur les avantages, les risques et les inconvénients qui pourraient accompagner l'introduction de cette nouvelle technologie. (Anderson et al., 2016). Selon Hoppe (2014), il s'agit d'apporter une compréhension fine des changements complexes induits par la voiture autonome afin d'anticiper les conséquences négatives et d'en accroître les bénéfiques. (Hoppe et al., 2014)

1.2. MÉTHODOLOGIE

Ce travail se veut une compilation d'analyses du monde scientifique, du monde de l'industrie et en particulier du secteur automobile. Il fait dialoguer les arguments des uns et des autres et essaie de dégager une analyse originale et fine de la technologie étudiée.

Spécificité : On notera dans le cadre de ce mémoire qu'il n'y aura pas de création de donnée expérimentale, mais bien uniquement des données issues de la revue de la littérature, la technologie étant encore inexistante, seule l'analyse critique des projections est envisageable.

1.2.1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

En première approche, la littérature industrielle a été consultée afin de se faire une idée des dernières avancées en la matière et de faire le tour des acteurs présents dans la « course » à la voiture autonome.

Ensuite, les recherches ont été focalisées sur la littérature scientifique, majoritairement anglophone. Les mots-clés utilisés ont été : voiture autonome, voiture intelligente, véhicule autonome, véhicule intelligent, autonomous vehicle. Ces premières recherches ont permis de trouver une première série d'articles

pertinents. Les sources de ces articles et les différents auteurs cités ont été utilisés pour trouver une deuxième série d'articles, le processus a été répété pour chaque nouvel article pertinent. Pour les sources ayant servi à chiffrer les impacts, les articles originaux ont été consultés afin de vérifier la qualité des sources et de mettre en évidence d'éventuelles nuances sur les résultats obtenus. En consultant les références des sources, on obtient généralement des informations sur la méthodologie mise en œuvre. Cette information précieuse permet de s'assurer de la fiabilité des résultats obtenus et facilite la comparaison de résultats de sources différentes.

1.2.2. RÉDACTION DU MÉMOIRE

La rédaction de ce mémoire, a été divisée en plusieurs étapes, la première consiste à définir précisément l'objet étudié, à savoir, la voiture autonome, l'objectif est de pouvoir se concentrer sur un objet unique et ainsi cibler les recherches. Ensuite étudier l'évolution récente et future afin de déterminer à quelle échéance, il faut envisager cette technologie, cet aspect temporel s'est d'ailleurs révélé plus important qu'attendu. Et enfin à analyser les impacts de l'introduction de cette technologie suivant le point de vue de la mobilité et de l'environnement afin de satisfaire à l'objectif d'interdisciplinarité que requiert ce mémoire. On notera que l'impact social semble très important lui aussi, pour des raisons de place il n'a pas été traité ici, il serait cependant intéressant de l'étudier dans un travail ultérieur.

Pour chaque impact, nous discuterons de la pertinence des informations récoltées et en particulier des conditions qui permettent de réduire (ou non) cet impact. Dans un chapitre spécifique nous analyserons ces différentes conditions afin de vérifier leur pertinence.

Ces différentes données seront finalement utilisées dans différents scénarios afin de mesurer l'impact global potentiel de la voiture autonome en fonction des hypothèses mises en évidence. Les conclusions de l'analyse serviront, le cas échéant, à la formulation de recommandations politiques.

2. SITUATION EXISTANTE

2.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est triple. Il s'agit de définir la voiture autonome, les niveaux d'autonomie, ainsi que le contexte global dans lequel évolue cette innovation.

2.2. DÉFINITION DU TERME : VOITURE AUTONOME, DE QUOI PARLE-T-ON ?

2.2.1. DÉFINITION « VOITURE AUTONOME »

Quand on parle de voiture autonome, il faut, en réalité, distinguer deux notions, référencées par Steer Davies et al. (2016). Il distingue d'une part, le degré d'automatisation des véhicules qui, grâce à une série d'équipements embarqués, sont capables d'accomplir certaines tâches de manière autonome (freinage d'urgence, maintien de la vitesse constante ou cruise control, ...) dont le dernier stade est celui du pilote automatique, où le véhicule ne requiert aucune présence ou intervention humaine pour se rendre à destination, et d'autre part, la provenance de l'information nécessaire à la mise en œuvre de ce degré d'automatisation. On parlera alors de « voiture autonome » pour les véhicules capables de récolter leurs propres informations (via des capteurs, caméras et autres) et de « véhicules connectés » pour ceux qui communiquent avec l'infrastructure (infrastructure routière : route, feu signalisation, ligne blanche, panneaux) ou avec d'autres véhicules.

Pour les besoins de ce travail, nous définirons la « voiture autonome » comme la voiture capable techniquement de rejoindre une destination définie, sans intervention humaine et ce grâce à l'information récoltée de manière autonome c'est-à-dire récoltée grâce à l'équipement embarqué. La voiture autonome n'est donc pas la voiture connectée.

Pour profiter pleinement des améliorations et bénéfiques potentiels de la voiture autonome, il est nécessaire qu'elle soit connectée, non seulement à l'infrastructure, mais aussi aux autres véhicules, ce qui en soit, représente déjà un énorme défi. (Bierstedt et al., 2014) (Steer et al., 2016)

2.2.2. NIVEAU D'AUTONOMIE

Le nombre de technologies existant sur le marché ou en cours de développement qui visent à améliorer progressivement la capacité du véhicule à se substituer au conducteur est très important. Afin de faciliter la comparaison du degré d'autonomie des voitures, plusieurs organismes ont proposé une classification. Aschonchilo (Aschonchilo et al., 2015) référence quatre organismes, à savoir : l'organisme technique fédéral allemand (BAST), l'administration de la sécurité routière aux Etats-Unis (NHTSA), les travaux de pré-normalisation SAE (Society of Automotive Engineers) et le Plan industriel véhicule autonome en France. Tous ces organismes référencent entre 5 et 6 niveaux. On notera que certains auteurs (Litman, 2015) ne référencent pas le niveau 0.

Dans la suite de ce travail, nous ferons référence à 6 niveaux, compris entre le niveau 0 pas d'autonomie et le niveau 5 autonomie complète. Ces différents niveaux sont décrits ci-après.

A. NIVEAU 0

S'il existe, il qualifie la non-automatisation du véhicule. C'est-à-dire que le chauffeur du véhicule est seul responsable de l'ensemble des éléments de contrôle du véhicule, comme la direction, le freinage, etc...

B. NIVEAU 1

Une ou plusieurs fonctions du véhicule peuvent être automatisées mais pas simultanément.

La différence essentielle avec le niveau deux réside dans l'impossibilité d'utiliser plusieurs fonctions automatisées en parallèle, obligeant le conducteur à garder le contrôle du véhicule à chaque instant.

Il s'agit de fonctions d'assistance à la conduite comme l'ABS (fonction freinage), l'ESP (fonction de direction) ou le cruise control (fonction vitesse).

L'ABS est une assistance au freinage, ou système antiblocage des roues, qui a pour effet de réduire la distance de freinage. L'ESP ou Electro Stabilisateur Programmé améliore le contrôle de la trajectoire du véhicule, (amélioration de la tenue de route). Il s'agit d'aider le conducteur à garder le contrôle de son véhicule. Le cruise control est, quant à lui, un dispositif permettant de définir un niveau de vitesse constant.

C. NIVEAU 2

Il s'agit de la capacité d'assister le conducteur de manière active et d'assumer le contrôle de plusieurs fonctions en parallèle dans des situations données. L'autorité sur les fonctions primaires (vitesse, direction) est partagée entre le conducteur et le véhicule.

Exemple : la possibilité de maintenir une vitesse constante en même temps que la position du véhicule sur sa bande, ce qui permet au conducteur de ne plus toucher ni au volant, ni aux pédales. Le conducteur reste cependant responsable de surveiller la route en permanence et de reprendre le contrôle lorsque les conditions ne sont plus remplies (dans notre exemple, il s'agit d'une assistance à la conduite dans les embouteillages (max 30km/h et trafic dense) (Biglia, 2015). Le véhicule n'est donc pas capable de détecter si ces conditions ne sont plus remplies.

D. NIVEAU 3

Permet au conducteur de céder le contrôle du véhicule. Le système embarqué est ici capable de gérer l'ensemble des fonctions primaires dans des conditions d'environnement et de trafic définies et de prévenir le conducteur de la nécessité de reprendre le contrôle lorsque ces conditions ne sont plus remplies (variable d'un véhicule à l'autre). Le chauffeur peut donc détourner son attention de la route mais doit être prêt à reprendre, sur demande, le contrôle du véhicule.

E. NIVEAU 4

L'ensemble des fonctions primaires et secondaires (gestion priorité, compréhension signalisation, ...) peuvent être prises en charge par le véhicule. Le conducteur introduit la destination dans l'ordinateur de bord et se laisse conduire jusqu'à destination mais un siège conducteur existe toujours et le logiciel peut faire appel à ce dernier dans certaines situations.

Lorsque les auteurs distinguent un niveau 4 et 5, la différence se situe au niveau des situations d'urgence. Au niveau 4, le véhicule autonome est normalement capable de gérer toutes les situations mais connaît ses limites et peut demander l'assistance du conducteur.

F. NIVEAU 5

Le niveau 5 caractérise des véhicules 100% autonomes. Communication entre véhicules. Capacité à négocier les priorités. (Bierstedt et al., 2014). Le niveau 5 est le dernier niveau d'autonomie où le véhicule n'a besoin d'aucune assistance pour se déplacer. On peut se le représenter en imaginant des véhicules conduisant dans tous les environnements sans nécessité d'un back up humain. voire même sans aucune présence à bord.

Différentes nomenclatures existantes			Nomenclature de la feuille de route VA du 2 juillet 2014
SAE (16 janvier 2014)	BAST (6 septembre 2010)	NHTSA (30 Mai 2013)	
0 : No Automation	Driver only	0 : No Automation	Niv 0 : Pas d'automatisation
1 : Driver assistance	Assisted	1 : Function-specific Automation	Niv 1 : Assisté
2 : Partial Automation	Partially automated	2 : Combined Function Automation	Niv 2 : Automatisation partielle
3 : Conditional Automation	Highly automated	3 : Limited Self-Driving Automation	Niv 3 : Automatisation conditionnelle
4 : High automation	Fully automated	3/4 (4 : Full Self-Driving Automation)	Niv 4 : Automatisation haute
5 : Full Automation	-	3/4 (4 : Full Self-Driving Automation)	Niv 5 : Automatisation complète

Figure 1 Synthèse des différents niveaux d'automatisation. Source : Asconchilo, 2015

2.3. À QUELLE ÉCHÉANCE ET COMMENT FAUT-IL ENVISAGER L'INTRODUCTION DE CETTE TECHNOLOGIE SUR LE MARCHÉ ?

Nous distinguerons deux notions, la première concerne l'apparition de la technologie, et la commercialisation des premiers modèles 100% autonomes (Niveau 5). La seconde est la diffusion de cette technologie ou « pénétration de marché », c'est-à-dire le nombre de voitures autonomes vendues par rapport au nombre total de voitures vendues.

L'exercice est loin d'être anodin, une grande partie des avantages mis en évidence par les industriels du secteur ne pourront être effectifs qu'à partir d'un certain pourcentage de voitures autonomes sur les routes et notamment de voitures capables de communiquer entre elles. Selon Litman (2015), si les premiers effets bénéfiques pourraient apparaître dès 2020-2030 avec l'amélioration de la mobilité des personnes actuellement sans voiture, les principaux bénéficiaires, à savoir : l'augmentation de la sécurité, la diminution de la pollution et de la congestion devraient attendre qu'une majorité (75%) des véhicules en circulation soient autonomes et ce vers 2040-2060. On notera, qu'à cette échéance, il est possible (souhaitable ?) que nous soyons déjà dans une ère post-carbone ou post-pétrole. Le développement de la voiture autonome comme solution technologique face à la pollution semble donc non pertinent.

2.3.1. À QUELLE ÉCHÉANCE PEUT-ON ATTENDRE LA VOITURE AUTONOME ?

De nombreux constructeurs ont désormais défini des dates de sortie programmée pour leur premier modèle de véhicule autonome. L'objectif de cette partie est de faire le point sur les différentes informations disponibles à ce sujet.

Annonce des différents constructeurs : Audi 2017 (Torr, 2014), Google en 2018 (Tam, 2012), Ford en 2020 (Su, 2015), Nissan en 2020 (Nissan, 2013) et Tesla en 2023 (Kaufman, 2014). (Davidson et Spinoulas, 2015)

On notera qu'une analyse approfondie des caractéristiques de ces premières voitures dites « autonomes » ne correspond pas encore au niveau 5 d'autonomie, mais bien à une mise sur le marché de voitures du niveau 2 et 3 (principalement) c'est-à-dire que les véhicules seront autonomes dans certaines conditions, sur certaines portions de routes (autoroutes), et durant un certain temps (quelques secondes voire quelques minutes) mais que le conducteur devra être en permanence prêt à reprendre le contrôle du véhicule.

Ce qu'en disent les auteurs : Pour Wadud et al., (Wadud et al., 2016) on peut imaginer les premiers modèles autonomes en conditions limitées (autoroute) (niveau 3) d'ici 5 à 10 ans (2018-2020) et partout (ville comprise) (niveau 4) d'ici 10 à 20ans (2024-2030) avec toujours un conducteur prêt à reprendre le contrôle et enfin 2027-2035 sans aucun back up (niveau 5).

Selon Todd (Litman, 2015), les niveaux 2 et 3 sont déjà soit opérationnels, soit en phase de tests sur route. Reste le niveau d'autonomie 4 et le niveau d'autonomie complète (niveau 5), pour lesquels un développement technologique est encore nécessaire.

Steer et al. (2016), ne parle du niveau d'autonomie complète (niveau 5) que sur le long terme et du niveau 4 (hautement automatisé) pour le moyen terme.

Pour les auteurs qui ne donnent pas de date nous avons fait l'hypothèse suivante 3-5 ans pour le court terme, 5-10 ans pour le moyen terme et plus de 10ans pour le long terme. Cette hypothèse est nécessaire à l'élaboration de scénarios dans le chapitre 5.

Pour Will Knight (2013), la voiture 100% autonome est encore loin d'être une réalité tangible, il reste de nombreux problèmes techniques non résolus. Knight insiste aussi sur la *phase de transition*. Entre le moment où le conducteur est 100% responsable et le moment où le véhicule sera 100% responsable, il s'écoulera une période *critique* d'une voire plusieurs décennies. En effet, durant cette période, le véhicule devra pouvoir repasser la main au conducteur pour l'aider à gérer des situations « difficiles ». De l'expérience même de Will Knight qui a testé une voiture autonome sur autoroute, maintenir une attention constante quand la voiture a le contrôle est extrêmement compliqué. On imagine aisément que le conducteur confiant dans les capacités de sa voiture risque de réaliser rapidement des activités « prenantes » réduisant sa capacité à réagir promptement. Selon Clifford Nass, codirecteur du Centre pour la Recherche de l'université de Stanford, cette transition représente le moment le plus dangereux pour la voiture autonome. (Knight, 2013)

Un exemple parmi d'autres pour illustrer la complexité des problèmes de la circulation en ville, est celui des feux de signalisation : repérer les couleurs est relativement facile, par contre déterminer à qui s'adresse quels feux est d'une grande complexité.

On le voit, le chemin est encore long avant l'apparition de voitures autonomes de niveau 5.

On notera que l'essentiel de la littérature analyse les bénéfices et les risques de la voiture autonome de niveau 5, selon des scénarios dans lesquels les VA représentent 100% des véhicules en fonctionnement. Il s'agit d'un niveau théorique utilisé pour faire fonctionner des modèles de calculs du trafic, dans la réalité ce niveau n'est pas envisageable à moins d'interdire l'utilisation de voiture non-autonome. Il est donc intéressant de se pencher sur un second élément, la vitesse de diffusion, c'est-à-dire de comprendre comment et combien de temps sera nécessaire pour que la voiture autonome atteigne ce niveau de 100% des véhicules en fonctionnement.

2.3.2. DÉFINITION DES PHASES D'INTRODUCTION SUR LE MARCHÉ

Vient donc la question de la pénétration du marché. L'apparition d'une technologie est une chose, sa diffusion en est une autre.

A. LA PREMIÈRE QUESTION EST DE SAVOIR SI LA TECHNOLOGIE EN QUESTION SÉDUIRA LE MARCHÉ ?

Nous nous attarderons d'abord sur la théorie de la diffusion des innovations d'Everett Rogers (1962) (Rogers, 1995) (Kelkel, 2015) qui référence 5 éléments qui déterminent la rapidité de diffusion des innovations. Il s'agit en effet de savoir si l'innovation que nous analysons possède les caractéristiques nécessaires pour être largement et rapidement diffusée. Pour rappel, toutes les innovations ne connaissent pas nécessairement une large diffusion, la voiture électrique existe depuis le 19^{ème} siècle (+- 1830) et représente moins de 1% du marché en 2015 (20 000 véhicules hybrides ou électriques immatriculés en Belgique sur un total de 5.5 millions soit 0.36% selon les chiffres du SPF économie).

Nous proposons ici une analyse comparative de la VA et de la voiture électrique sur base des 5 éléments de référence mis en évidence par Rogers.

Avantage relatif :

Il s'agit pour le consommateur de percevoir le nouveau produit (la voiture autonome) comme plus avantageux que l'ancien. La possibilité d'utiliser le temps passé dans sa voiture autonome pour d'autres activités que la conduite semble être l'avantage le plus important de la VA. Il change, de manière fondamentale, la perception du déplacement, en particulier pour les trajets longue distance et les trajets domicile-travail (mobilité contrainte) qui pourront désormais être comptés comme temps de loisirs. A contrario, la voiture électrique reste une voiture comme les autres en matière de conduite. Pour une partie des utilisateurs, l'autonomie de la voiture électrique comparativement plus faible que les voitures à moteur à combustion pourra même être perçue comme un désavantage.

La compatibilité :

Le nouveau produit est-il en accord ou non avec la norme sociale et avec les valeurs auxquelles le consommateur s'identifie ? Le produit proposé est-il en accord avec son temps ? La visiophonie existe par exemple depuis les années 60 mais le consommateur de l'époque la trouvait trop intrusive, alors qu'à l'arrivée de Skype, le consommateur était prêt. Pour la VA, la réponse n'est pas évidente, de nombreux conducteurs prennent encore du plaisir à conduire et ne souhaitent pas déléguer, même partiellement, le contrôle du véhicule. Comme pour la boîte automatique, qui existe depuis le début du 20^{ème} siècle et qui n'est pas encore généralisée. On notera cependant que le développement de la téléphonie mobile (et le caractère addictif qu'elle représente pour certains) nous semble en mesure de changer la donne rapidement, en particulier lorsque le véhicule ne nécessitera plus aucune présence humaine.

Pour les voitures électriques, la période commence à être propice en raison de la montée en force des inquiétudes concernant la qualité de l'air et des réglementations associées.

La complexité :

Est-il difficile ou non de s'en servir ? Pour la voiture électrique, en dehors d'une diminution du bruit engendré, le conducteur ne devrait quasiment pas percevoir de différences. Pour la voiture autonome, au niveau 5 de la VA, la prise en main devrait être possible dès lors que l'utilisateur est capable d'introduire une destination.

Avant ça, Will Knight (2013) a mis en évidence la période de transition critique, pour les niveaux 2, 3, 4 pour lesquels le conducteur aura la possibilité de déléguer la conduite tout en devant rester disponible et prêt à reprendre le contrôle du véhicule. Si le système de rappel du conducteur n'est pas efficace et qu'il entraîne des accidents trop importants (en nombre ou en gravité), la confiance des consommateurs pourrait diminuer voire disparaître ce qui porterait atteinte au développement de la voiture autonome.

La testabilité :

Est-il possible de tester l'innovation ? La réponse est oui et depuis longtemps pour la voiture électrique. Pour la VA, actuellement seuls quelques privilégiés ont déjà eu l'occasion de tester des modèles en développement. Par contre, lorsque les premiers modèles grand public seront commercialisés, on peut imaginer la valorisation sociale des premiers acheteurs de la voiture autonome, qui deviendront le centre d'attention de leur communauté (famille, ami, collègue...) ce qui participera à la notoriété et à la diffusion de la voiture autonome.

L'observabilité :

Les bénéfices attendus sont-ils facilement perceptibles ? Les avantages de la voiture électrique sont difficilement perceptibles pour le consommateur. En effet, la majorité des bénéfices sont pour la collectivité (diminution de la pollution de l'air)

Au contraire, l'utilisateur de la VA percevra immédiatement les bénéfices (utilisation du temps de conduite pour des activités de loisirs ou de repos, valorisation sociale). Alors que les désavantages seront supportés par la collectivité (voir chapitre 3)

Conclusion

On peut donc estimer que la VA (niveau 5) réunit toutes les conditions pour connaître une diffusion rapide. Avec le risque que comportera le développement des niveaux intermédiaires 3 et 4, de la VA.

B. COURBE DE DIFFUSION

Dans ce point, nous passerons en revue les différents scénarios de diffusions en détaillant les raisonnements qui ont conduit à leur élaboration. La pénétration de marché est divisée en plusieurs phases, généralement quatre (lancement, croissance, maturité, déclin). Et cette diffusion suit, généralement, une courbe en S (Davidson et Spinoulas, 2015). Dans le schéma ci-dessous, nous retrouvons les courbes de diffusion des principales innovations (réussies) du siècle passé, on peut constater que la diffusion des innovations va globalement en s'accéléérant. C'est-à-dire que le temps entre l'apparition d'une innovation et son adoption par une large part du marché diminue. On peut aussi constater que certains types de produits ont des courbes caractéristiques, exemple : les produits « technologiques » (Smartphone, logiciel) ou les innovations qui concernent les véhicules (airbag, cruise control). Ces courbes de diffusion ont une grande importance dans la mesure où les auteurs utilisent l'une ou l'autre comme référence, pour estimer la diffusion future de la VA.

On observe des différences importantes entre le type d'innovation, certaines innovations se diffusent plus rapidement que d'autres. La dernière en date est celle des Smartphones qui a mis moins de 10 ans pour se généraliser. Davidson et Spinoulas (2015) estiment qu'il pourrait en être de même pour la diffusion de la voiture autonome.

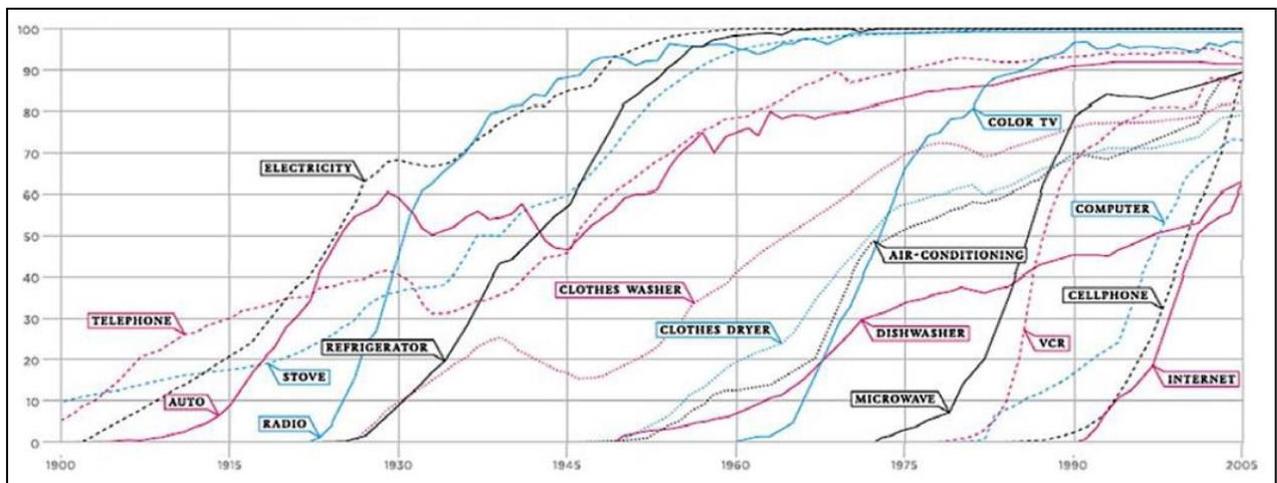


Figure 2 : Adoption des inventions de plus en plus rapides. Source : Davidson et Spinoulas 2015

Passons d'abord en revue la littérature non-scientifique.

Morgan Stanley (la banque américaine) prévoit une adoption complète dans à peine deux décennies et en quatre phases (sur base de scénarios idéaux, avec adoption massive en raison des bénéfices de la VA), tout comme Sebestyen pour le compte d'Ernst and Young, sur base de scénarios de développements technologiques et sur l'identification des freins au déploiement de cette technologie. (Sebestyen et al., 2014). Il s'agit de scénarios utopiques qui donnent plus une idée du temps de développement programmé de la technologie que d'une réelle estimation de pénétration de marché. (Limite mise en évidence par les auteurs eux-mêmes)

Description des quatre phases du scénario de Morgan Stanley :

Phase 1 : Cette phase de diffusion est considérée par certains auteurs (Biglia, 2015) comme déjà en cours, certaines technologies des niveaux 1 et 2 sont déjà disponibles sur le marché.

Phase 2 : Nous sommes entrés récemment dans la phase 2, certains modèles savent déjà se substituer dans des conditions précises aux chauffeurs grâce à des technologies de niveau 3, (parking automatique).

Phase 3 : Représente l'introduction de la voiture 100% autonome.

Phase 4 : Commercialisation de la voiture autonome dans 100% des ventes.

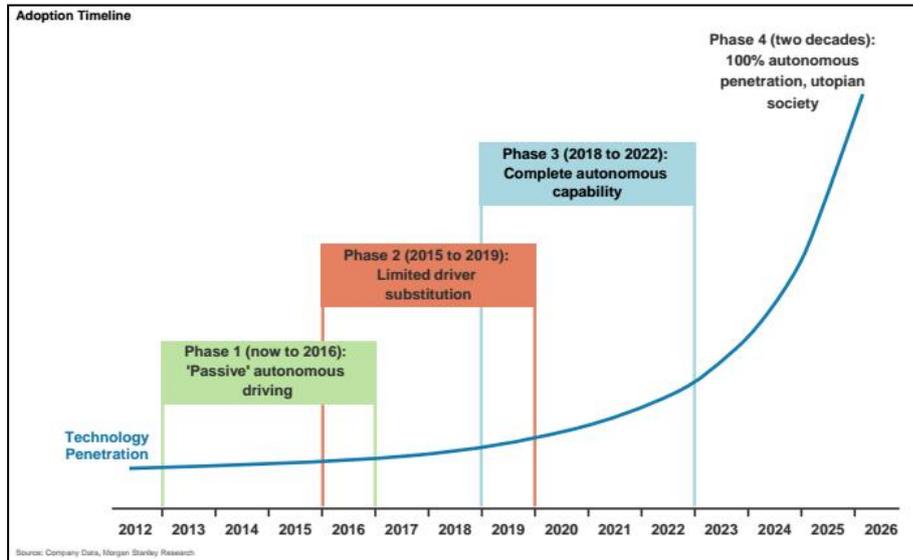


Figure 3 : Courbe de diffusion de la VA. Source : Shanker et al., 2013

KPMG (bureau de consultance) (KPMG, 2012) de son côté, présente trois scénarios (ci-dessous) probables sans donner de date précise. Ces scénarios sont fonctions de l'accueil, favorable ou non, réservé par le consommateur, des facilités accordées par l'autorité publique, de la capacité des constructeurs à proposer des standards communs.



Figure 4 : Scénario de diffusion KPMG. Source KPMG 2012

Parmi les auteurs scientifiques, on trouve deux tendances.

Bierstedt référence la projection la plus répandue comme étant celle de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) selon laquelle 75% des véhicules seront autonomes d'ici 2040 (Bierstedt et al., 2014). Selon leur propre projection, (méthode de comparaison de courbes de diffusions de technologies similaires) Bierstedt propose plutôt ceci :

- 25% of the vehicles on the road will be autonomous with vehicle-to-vehicle cooperation by 2035
- 50% of the vehicles on the road will be autonomous V2V in 2035-2050
- 75% beyond 2035 when federally mandated or when subscription "ownership" model prevails
- 95% beyond 2040 when federally mandated or when subscription "ownership" model prevails"¹ (Bierstedt et al., 2014)

Davidson (2015) envisage la possibilité d'une adoption plus rapide que ne le prédit Bierstedt (Davidson et Spinoulas, 2015) en raison de deux facteurs : il compare l'adoption possible de la voiture autonome à l'adoption du smartphone qui est devenu un standard en moins de 10 ans. Bien que la voiture ne fasse pas partie de la même catégorie de biens de consommation, il ne voit pas pourquoi son adoption ne pourrait pas être très rapide. L'adoption des nouvelles technologies se faisant de plus en plus rapidement.

Pour le "Victoria Transport Policy Institute" (Litman, 2015), l'adoption serait plus lente et n'atteindrait les 75% que vers 2060.

D'autres enfin voient une première commercialisation vers la fin de la décennie, avec une part croissante des ventes jusqu'en 2050-2060 où la voiture autonome représentera 100% des ventes.

Enfin, 100% des ventes ne signifie cependant pas que toutes les voitures en circulation sont autonomes. Pour cela, il faudra encore attendre entre 10 et 20ans (Litman, 2015) (Kelkel, 2015).

2.3.3. CONCLUSION DE LA PARTIE SUR L'APPARITION ET LA DIFFUSION DE LA VA

On constate une différence fondamentale entre la littérature scientifique qui réalise des prévisions en fonction du niveau d'autonomie et les publications de l'industrie ou de bureaux d'études plus ou moins indépendants qui ne font généralement pas de distinction entre les niveaux 3, 4, 5.

On notera ensuite que l'apparition de la voiture autonome (niveau 5) n'est a priori pas envisageable avant une dizaine d'années (développement de la technologie) et que sa diffusion suscite tout autant d'interrogations. Si les premiers modèles partiellement autonomes arriveront bientôt, les véhicules 100% autonomes pourraient n'être disponibles que vers 2030. Il faudra ensuite entre 10 et 20 ans pour qu'ils deviennent majoritaires dans les ventes de véhicules neufs et encore 10 à 20 ans pour qu'ils le deviennent dans le parc automobile (temps moyen de renouvellement d'un parc automobile). On notera aussi que le nombre d'innovations à atteindre les 100% de part de marché est faible, et que dans le cas de la VA on ne peut envisager ces niveaux qu'en cas d'interdiction de la voiture non autonome.

¹ Page 10: BIERSTEDT, Jane. Aaron, GOOZE. Chris, GRAY. Josh, PETERMAN. Leon, RAYKIN. Jerry, WALTERS.2014. Effects of next-generation vehicles on travel demand and highway capacity. pour Fehr and peers (Transportation Solutions that Improve Communities). 31p

2.4. CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de :

mieux faire connaissance avec la voiture autonome, de faire la différence entre les différents niveaux d'autonomie et de situer son développement sur une échelle de temps avec un développement qui prendra encore de nombreuses années avant de pouvoir s'affranchir totalement d'une présence humaine derrière le volant (2027-2035).

Si l'aventure de la voiture autonome est sur le point de commencer, il faudra encore de nombreuses années après son lancement pour que toutes les voitures vendues soient des voitures autonomes, et encore quelques années, pour que l'ensemble des voitures en circulation soient des VA. Les estimations varient entre 10 et 40ans après le lancement pour une pénétration de marché de 100%.

Ce qui nous permet déjà de conclure que la VA ne représente pas une solution de mobilité à court terme, et que l'analyse de la VA doit nécessairement tenir compte de cette composante temporelle.

La question est maintenant de savoir si la voiture autonome aura un impact positif ou négatif sur la mobilité et l'environnement. Afin de rendre ce travail plus concret et dans la mesure des informations disponibles, nous essayerons de quantifier cette amélioration ou détérioration.

3. IMPACT EN SITUATION PROJETEREE

3.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est d'analyser les différents avantages escomptés de la voiture autonome en matière de mobilité et d'environnement. Nous avons pour cela repris les différents impacts positifs et négatifs mis en évidence par la littérature.

On notera que si la partie mobilité est plus largement développée, elle couvre en réalité aussi des impacts sur l'environnement. En effet, parmi les 4 facteurs qui déterminent l'impact de la mobilité sur l'environnement : le nombre de véhicules x distance moyenne parcourue x consommations moyennes en carburant x quantités de carbone par type de carburant, les deux premiers sont couverts par la partie mobilité, le troisième par la partie environnement, le dernier n'étant pas traité dans ce travail.

Le chapitre est divisé en deux grandes parties :

- La première reprend les impacts de la mobilité en matière :
 - o de variation des capacités du réseau routier : par la capacité des VA à rouler de manière plus intelligente, leur capacité à réduire les accidents, à réaliser des gains d'espace (de parking notamment), et l'influence de celles-ci sur le transfert modal.
 - o de variation des habitudes d'utilisation : par une meilleure gestion des flux (type info trafic), en offrant un meilleur accès à la mobilité (personne sans permis), l'influence de la VA sur le choix des destinations (distances) et l'influence des voyages à vide.
 - o de variation des coûts à la fois du véhicule et des infrastructures.

- La seconde partie s'attache aux impacts spécifiques à l'environnement :

Principalement les variations de la consommation des véhicules en termes :

- o de variation de la vitesse, du poids et de la puissance des véhicules ;
- o de variation du style de conduite (éco-conduite) ;
- o de variation du type de conduite en convoi (platooning).

3.1.1. MÉTHODOLOGIE

Chaque catégorie d'impact fera l'objet d'une analyse en quatre parties.

- La première décrit dans un langage simple, le principe de fonctionnement de l'impact attendu.
- La seconde caractérise l'impact de manière chiffrée (si disponible dans la littérature) et s'attache à l'analyse critique de la littérature existante avec la mise en évidence des limites de la littérature.
- La troisième met en évidence des chiffres retenus par impact (pour les scénarios du chapitre 5) et explication de la méthodologie retenue.
- La quatrième s'attache à tirer les conclusions et enseignement de l'analyse de l'impact étudié.

Afin de pouvoir utiliser les données récoltées, vous retrouverez pour chaque point développé un tableau reprenant l'impact du facteur en fonction du taux de développement et de pénétration de la voiture autonome.

Nous avons défini 5 niveaux de pénétration de la VA

- 0% VA : taux de pénétration de la Voiture Autonome 0%. Il s'agit de la situation existante (2017)
- 100% VA3 : L'ensemble des véhicules sont des véhicules autonomes de niveau 3 (2025)
- 100% VA4 : L'ensemble des véhicules sont des véhicules autonomes de niveau 4 (2040)
- 50%VA5 : taux de pénétration de la voiture autonome niveau 5 égale à 50% (2050)
- 100%VA5 : 100% des voitures en circulation sont des voitures autonomes de niveau 5 (2060)

Attention, il ne s'agit pas de prévisions, il est en effet illusoire de penser qu'en 2025, 100% des voitures seront des VA de niveau 3, mais bien d'un scénario permettant de mettre en évidence les effets cumulés des différents impacts analysés.

Nous avons ensuite divisé les impacts de la mobilité en deux facteurs : ceux influençant le trafic, c'est-à-dire le nombre de véhicules présents simultanément sur la voirie et ceux influençant la capacité de la voirie, c'est-à-dire le nombre de véhicules potentiellement absorbables par une bande de circulation. Nous détaillerons pour chaque point la méthode et les hypothèses utilisées.

Le principe des conditions : vous retrouverez à la fin de chaque analyse d'impact une série de « conditions » mises en évidence. En effet, lors de notre analyse de la littérature, il est apparu que l'intensité de l'impact mise en évidence dépend régulièrement d'une série de conditions d'utilisation dont nous avons voulu nous affranchir.

Exemple : « La voiture autonome permet de réduire de 2/3 le nombre de véhicules nécessaires pour offrir un même service de mobilité ». Cette affirmation est vraie à condition que la voiture autonome soit un véhicule partagé et pour une longueur moyenne des trajets définis. Suivant que la condition soit remplie ou non, l'impact de la voiture autonome sur la mobilité varie de manière importante. L'ensemble de ces différentes conditions sera ensuite analysé au chapitre 4 afin de déterminer s'il est réaliste ou non de tenir compte de ces conditions.

3.2. IMPACT D'UN POINT DE VUE DE LA MOBILITÉ

L'objectif de ce point est d'analyser la littérature afin de déterminer l'impact de la voiture autonome sur le trafic. La congestion est un problème important de nos sociétés. Les défenseurs et les développeurs de la voiture autonome considèrent que celle-ci pourrait améliorer la situation en fluidifiant la circulation. Nous noterons que les auteurs n'évoquent généralement pas les nuisances dues au bruit. En ce qui concerne la qualité de l'air, toujours pour les promoteurs de la VA, elle s'améliore grâce à la disparition des embouteillages et à l'arrivée de la voiture électrique (nous analyserons les limites de ce raisonnement tout au long de ce chapitre).

Dans l'analyse complète de la littérature, nous retrouvons deux tendances :

- la première met en avant les avantages et les obstacles à la mise sur le marché des véhicules autonomes, sans faire mention ou en minimisant les inconvénients potentiels.
- la seconde met en avant une analyse plus nuancée et plus critique de l'introduction des véhicules autonomes, en insistant régulièrement sur le haut degré d'incertitude présent en raison d'un nombre d'inconnues encore important.

Nous mettrons donc en regard les avantages mis en évidence et les risques directs et indirects qui y sont liés.

En matière de mobilité, on notera que nous n'avons pas retenu et analysé l'influence de toutes les tendances sociétales, impactant les besoins en mobilité en raison de l'absence de lien direct et établi avec la voiture autonome. Exemple : le télétravail

3.2.1. LA PROBLÉMATIQUE DE LA MOBILITÉ

A. LA DÉMOGRAPHIE

L'un des apports originaux de ce travail sera de proposer une analyse de cas pour la Région de Bruxelles-Capitale. Nous définirons dans ce point les caractéristiques générales de la mobilité à Bruxelles. Nous mesurerons l'influence de la voiture autonome par rapport à ce cas concret.

La première réalité est démographique, depuis 1995 la population bruxelloise est en croissance et est passée de 959.000 habitants en 2000 à 1.048.000 habitants en 2008 et 1.181.000 en 2015

Projection pour la période 2020 – 2025.

	2005	2005-2015	2015	2015-2020	2020	2020-2025	2025	2015-2025
Région de Bruxelles-Capitale	1 006 749	168 424 17 %	1 175 173	59 564 5,1 %	1 234 737	41 818 3,4 %	1 276 555	101 382 8,6 %

Source : IBSA, Bureau fédéral du Plan, SPF Economie – Statistics Belgium

Figure 5 : Accroissement population Bruxelles. Source : IBSA cahiers_ibs_a_n_6_octobre_2016

Pour les projections à plus long terme, nous utiliserons les perspectives démographiques issues du Bureau fédéral du Plan (BFP) qui prévoit pour la Région de Bruxelles-Capitale une croissance de 16% (base 2017) en 2040, de 23% pour 2050 et de 29% pour 2060. L'accroissement de la démographie porte en elle une augmentation des besoins en matière de mobilité. Nous ferons l'hypothèse que l'accroissement de la demande est proportionnel à l'accroissement de la population.

B. LA GÉOGRAPHIE

La seconde caractéristique de la mobilité à Bruxelles est son lien fort avec sa périphérie.

Le deuxième Cahier de l'Observatoire de la mobilité, nous apprend que 33,4% des trajets sont réalisés depuis ou vers la périphérie, soit 450 000 déplacements en voiture (journaliers) depuis et vers la périphérie et 750 000 déplacements par jour internes à la Région bruxelloise.

On estime le nombre de places de stationnement à 750.000 réparties entre le parking en voirie **281.000 places** : les logements privés 197.000 places, et le reste des places étant réparti entre les parkings de bureaux, les commerces et les parkings publics hors voirie.

Pour les seuls Bruxellois, les chiffres de l'IBSA indiquent 514.651 voitures leur appartenant.

C. LES COÛTS EXTERNE

Il est aussi possible de chiffrer le coût de la congestion. Au niveau bruxellois, suivant les méthodes de calcul, on estime la perte annuelle entre 25 millions d'€ et 105 millions d'€ et jusqu'à 500 Md'€ en incluant l'ensemble des coûts externes générés (Campeo et al., 2014).

En temps perdu, selon des données GPS, la congestion équivaut à une perte moyenne de 80h par an et par véhicule en circulation pour Bruxelles.

D. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET MÉTHODOLOGIE

Le quatrième point de chaque impact traité comprendra un tableau tel que ci-dessous reprenant pour cinq niveaux de pénétration de la voiture autonome, les variations engendrées par le(s) facteur(s) étudié(s).

	0% VA	100% VA3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Démographie	+0%	+5%	+15%	+20 %	+30%	Trafic

Tableau 1 : Impact de la démographie sur la demande de mobilité. Source : Nieuwland 2017

Hypothèse : Les chiffres de l'augmentation de la mobilité ont été considérés comme proportionnels à l'augmentation de la population. Si la population augmente de 1%, les besoins en mobilité augmenteront dans les mêmes proportions. Cette hypothèse, ne tient pas compte de l'évolution potentielle de la composition des ménages ou d'autres facteurs pouvant influencer la demande en mobilité.

E. CONCLUSION

Seul l'impact de la démographie sera pris en compte en raison de son importance quantitative et de la solidité des projections. D'autres facteurs auraient pu être analysés, comme les variations géographiques des populations (étalement urbain), les variations des habitudes de travail comme le télétravail. Il a cependant été décidé de limiter la prise en compte des impacts non liés à la voiture autonome pour éviter de se disperser.

3.2.2. IMPACT EN TERMES DE CAPACITÉ DES ROUTES

A. EFFET SUR LA CAPACITÉ DES ROUTES

A.1. Principe

La VA augmente la capacité d'une route en réduisant les distances de sécurité. Elle offre la possibilité de rouler en convoi (platooning), en réduisant la largeur des bandes (Litman, 2015), en augmentant la vitesse des véhicules, tout en maintenant une sécurité optimale et ce par une meilleure communication entre la route et le véhicule et entre véhicules (Mulligan, 2014).

Pour donner une image forte au lecteur, on imaginera une file de voitures démarrant simultanément au feu rouge, augmentant le nombre de voitures capables de « passer le feu » durant le même laps de temps.

Courbe de la vitesse en fonction du débit d'une route.

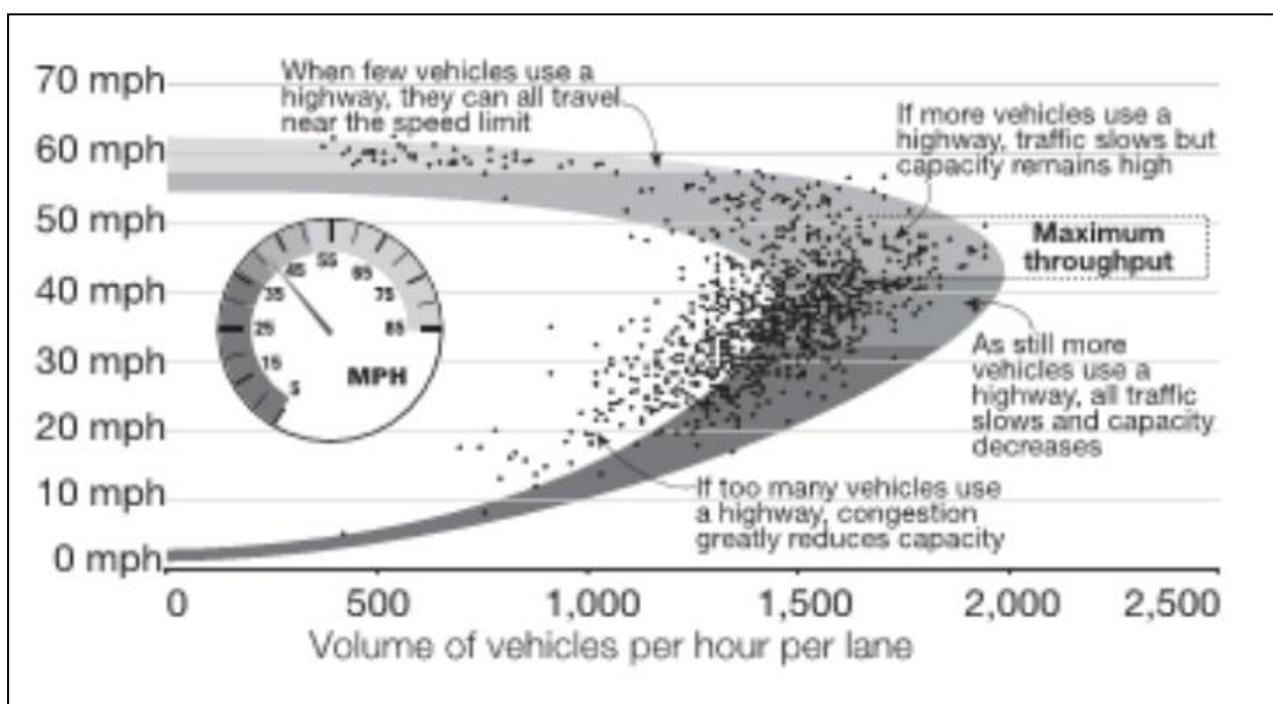


Figure 6 : Débit d'une route en fonction de la vitesse. Source : Peterson, 2015

Dans la figure 6, on constate que, dans un premier temps, une augmentation de la vitesse accroît la quantité de véhicules (débit) pouvant passer sur une route, ensuite, si la vitesse continue à augmenter, le débit diminue. Il existe donc un optimum qui se situe aux alentours de 60km/h. (Brunel, 2007). Cet optimum n'est atteint qu'en conditions stables (sans perturbations) c'est-à-dire sur une route sans feux de circulation et avec de larges bandes de circulation.

A.2. Caractérisation et limite

Pour Bierstedt (Bierstedt et al., 2014), l'amélioration globale pourrait être de 45%, une fois que la majorité (75%) des véhicules sera autonome.

A noter, les possibilités d'amélioration des capacités d'une voirie varient de manière importante suivant le type de voirie étudiée : on retrouve généralement une distinction entre les autoroutes et les milieux urbains. (Mulligan, 2014)

Pour Steer, l'augmentation sur autoroute pourrait être de 500% (Steer et al., 2016) idem pour Anderson (Anderson et al., 2016)(étude spécifique à ce type de voiries). Pour van den Berg suivant le type de voirie, l'amélioration pourrait varier de 7% à 400% une fois qu'il y aura 100% de VA (van den Berg et Verhoef, 2015).

Plusieurs limites sont mises en évidence par ces mêmes auteurs.

- Pour Fagnant (Fagnant et Kockelman, 2015), la mise en évidence d'une amélioration de la circulation (par taux de pénétration de la voiture autonome : 10%, 50%, 90%) se fait en parallèle avec l'augmentation de l'utilisation de la voiture, ce qui tend à annuler une partie des bénéfices attendus (Fagnant et Kockelman, 2015). Pour Bierstedt, le constat est le même, l'augmentation de 45% de la capacité de la route s'accompagnerait d'une augmentation de 35% du trafic, annulant une grande partie des bénéfices attendus.
- Durant les premières phases du développement de la VA (niveaux 3 et 4), la capacité des voiries pourrait être diminuée pour des raisons de sécurité. Les constructeurs seront amenés à augmenter les distances de sécurité et à diminuer la vitesse des véhicules réduisant la capacité des infrastructures. (Bierstedt et al., 2014) (van den Berg et Verhoef, 2015). Pour Van Arem (2006) qui a étudié les « robots cars » l'effet potentiel peut atteindre 10% de réduction (Shaheen et al., 2009) (Van Arem et al., 2006).
- A terme, si les capacités des voies rapides sont décuplées, **il faut rappeler utilement que la majorité des problèmes de congestion se concentre déjà sur les villes et leurs accès**. La ville possède des caractéristiques comme la circulation des piétons et des cyclistes qui limiteront (à priori) toujours la capacité des voiries. On parlera d'un effet goulot. (Homen, et Van Arem, 2016). Davidson et Spinoulas arrivent à la même conclusion. En ville, les opérateurs de la VA donneront priorité à la sécurité, ce qui induira une vitesse plus faible pour réduire les temps de réaction, les distances de freinage et les conséquences en cas de collision.
- Enfin, tout ceci nécessite une communication importante entre les VA des différents opérateurs et entre l'infrastructure et les VA. Non seulement à un moment X mais entre des modèles de générations différentes. En faisant le parallèle avec les difficultés existant au niveau de mises à jour de nos ordinateurs, on mesure les difficultés qui nous attendent.

Table 1: Increase in capacity from switching from only normal cars to only robot cars

Study	Uncooperative robot cars	Cooperative robot cars
Chang and Lai (1997)	33%	x
Fernandes and Numes (2012)	x	84–230% at 36 km/h, 186–414% at 72 km/h
Ni et al. (2010)	x	20–50%
Shladover (2011)	x	80%
VanderWerf et al. (2002)	7%	Around 220%
Shladover et al. (2012)	1–4%	97%
Tientrakool et al. (2011)	90% at 50 km/h, 40% at 100 km/h	200% at 50 km/h, 270% at 100 km/h

Figure 7 : Différents gains potentiels de capacité. Source : van den Berg et Verhoef 2015

Dans la figure ci-dessus, les véhicules « cooperative robot cars » sont des véhicules capables d'échanger des informations entre eux, comme par exemple signaler un ralentissement au km X, en français on retrouve souvent le terme connecté. (Plus de détails au chapitre 4)

**TABLE 5
PRELIMINARY VISSIM SIMULATION RESULTS – FREEWAY PERFORMANCE
WITH INTERMEDIATE ACC**

Performance	Base	10% Intermediate	50% Intermediate	75% Intermediate
Total Delay [hours]	39	39	37	27
Average Delay per Vehicle [seconds]	16	16	16	12
Total Travel Time [hours]	331	331	328	317

Figure 8 : Capacité sur autoroute en fonction du taux de pénétration. Source : Bierstedt et al. 2014

Dans la figure ci-dessus, on observe que, pour avoir un impact sur la circulation (ici en heure d'embouteillage), le taux de pénétration de la voiture autonome doit être de minimum 50% et que l'impact n'est significatif qu'à partir de 75% de voitures autonomes, on notera que si la congestion diminue, elle ne disparaît pas.

A.3. Synthèse des données et méthodologie

Les chiffres présentés dans le tableau ci-dessous serviront à construire les scénarios du chapitre 5. La variation de la capacité de la route aura naturellement une influence sur le facteur « capacité de la route ». Une attention particulière sera portée sur l'aspect redondant des variations étudiées afin de ne pas comptabiliser deux fois une augmentation des capacités.

Le tableau ci-dessous est divisé en quatre parties, pour décliner deux grandes variations, l'impact en fonction du lieu (ville – autoroute) et l'impact en fonction d'une compatibilité des véhicules. Les véhicules compatibles désignent des véhicules capables d'échanger utilement des informations. (Voir chapitre 4)

Variation capacité (%)	0% VA	100% VA3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Ville sans condition	+0%	+0%	- 5%	- 5%	-10%	Capacité
Ville VA compatible	+0%	+0%	+10%	+ 10%	+20%	Capacité
Autoroute sans condition	+0%	+10%	+20%	+ 30%	+40%	Capacité
Autoroute VA comp.	+0%	+500%	+500%	+500%	+500%	Capacité

Tableau 2 : Variation capacité de la route en %. Source : Nieuwland 2017.

La littérature fournit des chiffres à première vue fort variables, il a cependant été possible de classer les différentes estimations en fonction du milieu (ville – autoroute) et en fonction du taux de pénétration. Dans le tableau ci-dessus, nous avons repris les valeurs maximales présentes dans la littérature (hypothèse optimiste).

Détail des variations de capacité :

Pour la ville sans condition : l'impact est globalement négatif, en raison de la prédominance des aspects de sécurité (piétons, cyclistes) (Shaheen et al., 2009) (Van Arem et al., 2006). On notera que les auteurs référencés ne chiffrent pas l'impact négatif, c'est pour cette raison qu'ont été choisies des valeurs proportionnellement faibles de 5 et 10%.

Pour la ville avec VA compatible : l'augmentation est progressive jusqu'à un maximum de 20%, la compatibilité des véhicules compensant l'impact négatif de la sécurité. On notera que l'hypothèse d'une compatibilité totale est une utopie en ville en raison de la présence de piétons, cyclistes et autres véhicules à deux roues.

Pour l'autoroute avec VA non compatible : le chiffre de + 40% est le chiffre maximum trouvé dans la littérature et il est atteint progressivement et linéairement.

Pour les autoroutes avec VA compatible : le chiffre de 500% d'augmentation est atteint dès le niveau 3 en raison de l'hypothèse de la présence de 100% de VA niveau 3.

A.4. Conclusion

Les gains en termes de capacité seront probablement négatifs, (Shaheen et al., 2009) (Van Arem et al., 2006) dans un premier temps, en raison de la prédominance des aspects de sécurité. Les bénéfices pour l'automobiliste, s'ils ne sont pas compensés par l'augmentation du trafic, n'apparaîtront que d'ici plusieurs décennies (taux de pénétration important entre 50% et 75% voire 100% pour certains auteurs) et se concentreront sur les autoroutes et les voiries réservées aux voitures.

Ce point permet de mettre en évidence l'importance de l'analyse spatiale de la voiture autonome, les effets en matière de gains seront très différents suivant le type de voiries. Nous retiendrons deux milieux opposés : « L'autoroute » et « La ville »

Condition : Une partie des bénéfices attendus nécessite que les VA soient compatibles, c'est-à-dire qu'elles aient la capacité de communiquer entre elles. La seconde condition est un parc automobile autonome qui représente 75% des véhicules en circulation.

B. RÉDUCTION DU NOMBRE D'ACCIDENTS ET DES EMBOUTEILLAGES QUI EN DÉCOULENT

B.1. Principe

Les accidents entraînent une diminution momentanée mais importante des capacités de la voirie. Selon plusieurs auteurs, la majorité de ces accidents sont dus à des facteurs humains. La VA aura la capacité de supprimer ce facteur et ainsi réduire la fréquence et la gravité des accidents ce qui permettra de fluidifier le trafic. (Davies et al., 2014) (Focant, 2015) (Minoc, 2012) (BSPCV, 2009)

B.2. Caractérisation et limite

Pour Anderson, (Anderson et al., 2016) la sécurité routière sera sans doute l'un des principaux bénéfices de la voiture autonome. Selon Goguen, 90% des accidents pourraient être évités. (Goguen et al., 2015) On retrouve ce chiffre chez une majorité des auteurs. (Bierstedt et al., 2014) (Litman, 2015) (Biglia, 2015). La réduction des accidents entraînerait pour Bierstedt une diminution de 25% des encombrements.

Comme pour les bénéfices en termes de capacité de la route, certains auteurs nuancent la possibilité de réaliser ce gain en raison de l'effet d'appel. (Steer et al., 2016) (Bierstedt et al., 2014).

- L'augmentation potentielle de la durée des trajets et des distances parcourues, risque d'accroître proportionnellement le risque d'accident. Il faut aussi souligner la possibilité de voir le risque humain être remplacé par le risque informatique (Litman, 2015), il est ici difficile de chiffrer le risque.
- Une seconde nuance doit être apportée : la plupart des auteurs font référence à des chiffres bruts tirés des statistiques des agences de sécurité routière américaine (NHTSA, 2008). En détaillant des statistiques similaires en Belgique et à Bruxelles, on se rend compte qu'une fraction de ces comportements humains concerne des piétons ou d'autres usagers qui ne disparaîtront pas avec l'arrivée de la VA. Pour Bruxelles, sur 96 accidents mortels entre 2008 et 2012, **48% impliquaient un piéton** (Focant, 2015). Dans un rapport de la police cantonale de Vaud en 2009 (BSPCV, 2009), on apprend que sur 3500 accidents de la circulation 21% impliquaient d'autres usagers que la voiture ou les camions. Pour les accidents qui concernent la voiture ou le camion, des comportements non liés directement à la conduite du véhicule sont régulièrement mis en avant : entretien du véhicule, fixation du chargement, ces éléments ne pourront pas être pris en charge par la VA.

Sur base de ces différentes observations, on peut constater qu'une fraction des comportements humains à l'origine des accidents ne disparaîtra pas à l'arrivée de la voiture autonome : 50% en agglomération (présence de piétons, cyclistes, ...) et minimum 15% sur autoroute (présence de motos, mauvais chargements, ...). Ces comportements, par définition, imprévisibles devront être compensés par des vitesses moindres et des distances de sécurité accrues, ce qui limitera les gains en termes de capacité comme expliqué précédemment.

Il existe aussi un effet de compensation du risque (Ecenbarger, 2009) (Litman, 2015) : si les conducteurs se sentent plus en sécurité en raison de la présence de VA, les conducteurs humains prendront proportionnellement plus de risques (vitesse, comportement...), ce qui aura pour effet de compenser en partie la diminution du nombre d'accidents. (Bierstedt et al., 2014).

L'effet de compensation du risque concerne aussi les utilisateurs de la VA : il faut rappeler le risque que représente la phase de transition (niveaux d'autonomie 3 et 4) durant laquelle les conducteurs devront être disponibles pour reprendre le contrôle à tout moment. Cette phase de transition représente un risque majeur et sera déterminante dans le développement et la popularité de la voiture autonome. (Knight, 2013) (Anderson et al., 2016)

Enfin, pour Barth et al. 2014 en cas de non communication entre les véhicules, les temps de décision d'une VA pourraient être comparables aux réflexes humains.

B.3. Synthèse des données et méthodologie

La diminution du nombre d'accidents a été assimilée à une amélioration de la capacité de la voirie. Si un accident diminue la capacité d'une voirie, la non survenance d'un accident maintient la capacité à un niveau identique. La fréquence des accidents, dans et autour de Bruxelles, nous a semblé suffisante (hypothèse) pour considérer la diminution des accidents comme une amélioration de la capacité des routes.

Nous retiendrons le chiffre de Bierstedt pour qui la diminution du nombre d'accidents de 90% entraîne une diminution de la congestion de 25%. La diminution de la congestion a été utilisée comme proxy de l'amélioration de la capacité sur autoroute pour le niveau 100%VA 5, le reste du tableau étant basé sur une régression proportionnelle comprise entre ce maximum et la situation actuelle de 0%. En effet, selon Brunel (2007) une augmentation de la capacité de 100% diminue la congestion et ramène la circulation à un trafic dense. Nous ferons l'hypothèse que pour diminuer la congestion de 25%, il faut augmenter la capacité de la voirie dans les mêmes proportions.

Capacité en %	0% VA	100% VA 3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Ville VA non comp.	+0%	+10%	+10%	+5 %	+5%	Capacité
Ville VA compatible	+0%	+10%	+10%	+ 10%	+10%	Capacité
Autoroute VA non comp.	+0%	+10%	+10%	+ 10%	+10%	Capacité
Autoroute VA comp.	+0%	+15%	+15%	+ 20%	+ 25%	Capacité

Tableau 3 : Variation de la capacité des routes en fonction de la diminution du nombre d'accidents (en %) Source : Nieuwland 2017

En ville, l'amélioration de la capacité est limitée à 10% afin de représenter la présence des piétons et autres véhicules non autonomes et non connectés (vélo) qui feront, à priori, toujours partie du paysage. En ville et à partir du niveau 5 d'autonomie, on observe une baisse (de +10% on passe à +5%) de capacité due à l'automatisation de la conduite en ville (non présente dans le point précédent). Cette automatisation entraîne une augmentation des distances de sécurité et une baisse de la vitesse réduisant d'autant les bénéfices du système.

Sur autoroute, nous avons représenté une évolution constante et croissante des bénéfices dans le scénario des véhicules compatibles (connectés) et stables pour les véhicules non connectés.

B.4. Conclusion

Les bénéfices en matière de sécurité sont potentiellement importants. Cependant, le facteur humain existera toujours, que ce soit au niveau du conducteur, du piéton sur le trottoir ou du programmeur derrière le clavier de programmation.

De plus, la notion de sécurité est antagoniste à la notion de capacité des routes et tant d'un point de vue légal que marketing, la sécurité primera sur la capacité. Les gains en matière de mobilité seront donc négatifs dans un premier temps (phase de transition) et faibles à nuls à terme, pour les agglomérations, et potentiellement meilleurs pour les autoroutes (15 à 20%).

On notera donc que la variation de la congestion par la diminution des accidents varie de manière spatiale (Ville/Autoroute) et de manière temporelle (Niveau d'autonomie)

Condition : la compatibilité des véhicules et leur capacité à se transmettre et recueillir de l'information + taux de VA important.

C. GAIN D'ESPACE

C.1. Principe

La voiture autonome porte en elle trois gains d'espace potentiels. Pour le premier, il s'agit de considérer les gains d'efficacité évoqués plus haut pour : non pas faire passer plus de voitures, mais bien diminuer l'espace dédié à la voiture (diminution du nombre de bandes de circulation pour un même débit de voitures). Le second gain nous vient de la suppression d'une partie de l'espace de stationnement : en particulier dans le cas d'une voiture autonome partagée qui après vous avoir déposé à votre destination continuera sa route pour prendre en charge un autre voyageur. (Thomopoulos et Givoni, 2015) La troisième possibilité est évoquée par Fagnant et Kockelman (2014) ou en plus d'être partagé, le véhicule pourrait effectuer du covoiturage (prise en charge de plusieurs passagers simultanément) comme pour le deuxième gain, il s'agit d'une diminution de l'espace de stationnement, les gains sont cependant décuplés.

C.2. Caractérisation et limite

Spieser et al. (2014) ont réalisé une estimation chiffrée pour la ville de Singapour. Ils arrivent à une réduction de 2/3 du nombre de véhicules nécessaires pour offrir le même service de mobilité. En conséquence de quoi, une réduction potentiellement importante de l'espace actuellement dédié aux véhicules en stationnement est envisageable (Spieser et al., 2014). Supérieure à 2/3, si l'on compte qu'une majorité des véhicules ne seront plus en stationnement mais bien en utilisation.

Deux limites doivent être mises en évidence :

- Ce gain potentiel pourrait être précédé d'une diminution de l'espace disponible en raison de la volonté de certains constructeurs/industriels de séparer le trafic autonome du trafic actuel pour des raisons de tests et de sécurité. Et plus particulièrement pour que leurs clients bénéficient rapidement des avantages de la VA tandis que la majorité des autres utilisateurs resteront bloqués dans le trafic.
- Effets secondaires sur le parking et sur le trafic : l'augmentation du temps passé dans le véhicule et le besoin de confort pourraient renforcer la tendance actuelle des véhicules à devenir plus longs et larges (Litman, 2015), rendant ainsi difficile la diminution de la taille des bandes de circulation actuellement surdimensionnées pour assurer la sécurité des dépassements.

Pour Fagnant et Kockelman (2014) dans un contexte urbain où la densité d'utilisateurs est forte et les trajets courts, la mise en service d'un service de voitures partagées utilisées simultanément par des personnes ayant la même destination, pourrait diviser le nombre de véhicules nécessaires d'un facteur compris entre 9 et 12, pour offrir un haut niveau de services (temps d'attente moyen de son véhicule +/- 20s).

On notera qu'il s'agit d'une hypothèse théorique ne tenant pas compte des trajets plus longs vers la périphérie (ville de maximum 15km sur 15km)

Il faut aussi évoquer la possibilité que la voiture autonome ne soit pas partagée, dans ce cas, plusieurs possibilités s'offrent à l'utilisateur : demander à son véhicule de trouver une place de parking quitte à s'éloigner fortement du lieu de destination, accepter d'utiliser ou non un emplacement payant ou demander à son véhicule de tourner en rond en attendant.

La gestion du stationnement entraîne plusieurs autres questions, à savoir : comment seront gérés les espaces privés ? Comment déterminer si le véhicule autonome est effectivement autorisé à se rendre dans une propriété privée ?

Autre question d'importance, en particulier dans les milieux urbains, la question de l'embarquement et du débarquement. Si le véhicule arrive dans une rue ne comprenant qu'une seule bande de circulation et

sans stationnement possible, va-t-il stationner en face de chez vous et attendre que vous embarquiez ? Si oui, combien de temps ?

C.3. Synthèse des données et méthodologie

Pas d'application

C.4. Conclusion

Offrir un service de mobilité équivalent avec seulement un tiers des véhicules, voire plus si les trajets étaient mutualisés, serait une opportunité formidable pour les habitants des villes. Nous insistons cependant sur la condition nécessaire pour que cet avantage devienne réalité : le partage de 100% des véhicules. De plus le risque de voir une partie de l'espace public réservé à ce mode de déplacement semble réel, alors que les bénéfices potentiels sont plus qu'incertains. On notera que la voiture autonome demande, au moins en matière de stationnement, une intervention politique pour définir et réglementer les usages.

Condition : Voiture partagée à 100% (covoiturage 100% pour l'hypothèse de Fagnant et Kockelman (2014))
On ne tiendra pas compte de ce paramètre au chapitre 5, on considèrera l'hypothèse optimiste que, si un gain est réalisé, il ne servira pas à l'augmentation de l'espace dédié à la voiture mais bien au confort des autres utilisateurs (piétons, cyclistes)

D. SUPPRESSION DU TRANSFERT MODAL

D.1. Principe

On observe actuellement un transfert modal depuis la voiture vers d'autres moyens de transport. Si une partie de ces transferts le sont pour des raisons idéologiques, on estime qu'une autre est due à des raisons pragmatiques, le temps de parcours par exemple (Provelo, 2016).

Certains auteurs évoquent donc la possibilité de voir une partie des utilisateurs des modes de déplacement doux ou des transports en commun, retourner à une mobilité automobile à l'apparition de la voiture autonome (Thomopoulos et Givoni, 2015).

« If it is hard to get people out of their cars it can be expected to be harder to get people out of their autonomous cars ...² (Thomopoulos et Givoni, 2015)

D.2. Caractérisation et limite

Pas de source chiffrée.

Si aucun auteur ne s'aventure à chiffrer cette hypothèse, le risque nous semble bien réel. On peut en effet imaginer que la facilité apportée par les véhicules autonomes, et en particulier leur capacité à venir vous chercher à domicile pourrait entraîner un retour vers l'utilisation de la voiture personnelle.

D.3. Synthèse des données et méthodologie

Nous avons considéré que l'impact du non transfert modal est compris dans le point 3.2.3.B « Meilleurs accès à la mobilité » (point ci-dessous)

D.4. Conclusion

Si les politiques de mobilité ont pour objectif de sortir les conducteurs de leur voiture pour les diriger vers les transports en commun ou vers la mobilité douce, il y a tout lieu de penser que cette transition devrait idéalement se faire **avant l'arrivée de la voiture autonome**.

Condition : pas de condition identifiée

² Page 9 : THOMOPOULOS, Nikolas. Moshe, GIVONI. 2015. The autonomous car—a blessing or a curse for the future of low carbon mobility? An exploration of likely vs. desirable outcomes. European Journal of Futures Research (2015). 14p

3.2.3. MODIFICATION DES HABITUDES D'UTILISATION

Notre deuxième partie va se concentrer sur les modifications que la VA pourra induire sur les habitudes d'utilisation : la gestion du trafic, l'accès à la mobilité (personnes sans permis), la variation des distances parcourues et les voyages à vide

A. MEILLEURE GESTION DU TRAFIC

A.1. Principe

La gestion améliorée du trafic permet aux autorités de disposer de bases de données sur les habitudes de tous les usagers quasiment en temps réel et permet ainsi de pouvoir piloter des mesures de régulation comme les prix des péages, les déviations, la calibration du réseau ou autre. (Thomopoulos et Givoni, 2015)

En contrepartie, les outils développés représentent un risque évident pour les libertés individuelles et la protection de la vie privée. La concrétisation de Big Brother sera particulièrement préoccupante pour les régimes forts, déjà en place et ceux qui pour des raisons sécuritaires ou autres, pourraient le devenir.

Cette gestion permet aussi aux autorités publiques d'intégrer et de faire respecter les notions de voiries prioritaires, voiries inter-quartiers, quartiers résidentiels... (Thomopoulos et Givoni, 2015) Ici aussi, sur le papier ça marche, le risque étant la possibilité pour certains groupes sociaux d'exercer des pressions plus importantes pour obtenir une déviation du trafic afin de rendre leur zone plus calme et moins polluée au détriment de catégories moins capables d'actionner les leviers nécessaires. La question de la gouvernance se pose ici avec acuité, question qui se pose déjà avec par exemple les itinéraires de déviation GPS, sont-ils soumis au respect de la hiérarchisation des voiries ?

A.2. Caractérisation et limite

Les prévisions de trafic en France existent depuis plus de 30ans (Bison Futé), les statistiques de saturation du réseau routier permettent déjà de faire des prévisions relativement fiables. Les enquêtes montrent que les prévisions engendrent jusqu'à 20% de changement de comportement (Belloche, 2013).

On peut estimer que la VA permettra d'augmenter ce chiffre mais pour certains comportements seulement, en particulier le choix de l'itinéraire.

Deux difficultés persisteront : la décision de l'automobiliste de réaliser ou non son trajet et l'heure de départ ou d'arrivée. La saturation du Ring de Bruxelles est une donnée connue de tous et cela n'empêche pas le phénomène de se répéter chaque jour.

Van den Berg et Verhoef (2015) ont d'ailleurs montré que dans un contexte intermédiaire (présence de VA et de VNA Véhicule non autonome), les détenteurs d'une VA seront plus enclins à supporter des embouteillages vu la possibilité pour eux de réaliser d'autres activités durant leurs déplacements. Ils se soucieront donc moins de la saturation du réseau. Ce qui entraîne un effet inverse.

Autre limite, l'utilisateur aura-t-il le choix de l'itinéraire (et donc la possibilité de prendre des raccourcis) ? La voiture autonome aura-t-elle la liberté d'emprunter des itinéraires de contournement via des quartiers résidentiels pour « gagner du temps » ou devra-t-elle se conformer strictement au respect de la hiérarchisation des voiries ?

A.3. Synthèse des données et méthodologie

Dans le cas de voitures connectées, l'amélioration technologique augmente progressivement la qualité de l'information et engendre une meilleure répartition spatiale et temporelle qui entraîne une diminution locale du nombre de véhicules. Variation que nous assimilons à une diminution de trafic (en %). Nous reprendrons l'ordre de grandeur de 20% de changement de comportement obtenu lors des avertissements de Bison Futé.

Parallèlement, l'arrivée de la voiture autonome libère progressivement le chauffeur de la contrainte de la conduite ce qui l'amène à ne plus tenir compte des prévisions de congestions, ce qui annule progressivement les bénéfices envisagés.

Variation de trafic en %	0% VA	100% VA 3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Ville sans condition	+0%	+5%	+10%	+15 %	+20%	Trafic
Ville VA compatible	-10%	-20%	-10%	-5%	+0%	Trafic
Autoroute VA non comp.	+0%	+5%	+10%	+15 %	+20%	Trafic
Autoroute VA comp.	-10%	-20%	-10%	-5%	+0%	Trafic

Tableau 4 : Variation du trafic (en %) en fonction de l'amélioration de la gestion du trafic. Source : Nieuwland 2017

Pour des raisons de facilité, le tableau représente la même distinction ville/autoroute que pour les autres impacts, les variations sont cependant identiques pour cette catégorie. Seuls le niveau d'autonomie et la condition de compatibilité font varier les données.

A.4. Conclusion

La VA connectée a la capacité de transmettre des informations nécessaires à la bonne gestion du trafic. En dehors du choix des itinéraires, ces informations seront sans doute récoltées inutilement, en effet, les utilisateurs de VA risquent de négliger ces informations en raison du confort apporté par la VA.

Seule la menace ou la sanction de l'autorité publique, que ce soit par l'utilisation de l'outil financier ou réglementaire, pourra avoir cet effet. Enfin comme pour la gestion du stationnement, nous noterons la nécessité pour le politique de clarifier l'utilisation du réseau secondaire pour contourner des problèmes de congestion (itinéraire alternatif).

Condition : compatibilité, taux de VA important

B. MEILLEUR ACCÈS À LA MOBILITÉ

B.1. Principe

La VA permet une meilleure mobilité pour les personnes n'ayant pas accès à une voiture à l'heure actuelle : pas de permis de conduire (Delbosc et Graham, 2013), trop jeune, trop vieux (Litman, 2015), cette forte augmentation du nombre d'utilisateurs de la voiture autonome induirait une forte augmentation du trafic. (Bierstedt et al., 2014) (Goguen et al., 2015) (Anderson et al., 2016) (Thomopoulos et Givoni, 2015). Il s'agit de l'un des impacts les plus souvent cités notamment en raison de sa capacité à ralentir ou annuler la diminution du nombre de conducteurs parmi les jeunes dans les pays développés. Il existe en effet une tendance au déclin du nombre de jeunes qui possèdent un permis de conduire (Delbosc et Graham, 2013) (Goodwin et Van dender, 2013) (Newman et Kenworthy, 2011) (Bastian et al., 2016) (Stokes, 2013)

Ce déclin est connu sous le nom de « Phénomène du peak-car ». Il s'agit d'un phénomène urbain observé dans l'ensemble des nations industrialisées. On y observe une tendance à la diminution du nombre de permis de conduire chez les jeunes générations. Le permis de conduire est obtenu de plus en plus tard et parfois plus du tout. On observe aussi une diminution de l'utilisation de la voiture comme mode de déplacement, tant en termes de nombres de trajets que de distances parcourues. Le phénomène est récent mais il a été observé dans de nombreux endroits différents. Newman et Kenworthy (2011) décrivent le phénomène comme la résultante d'une série de facteurs : limite technologique des voitures, développement d'une culture urbaine dans les générations plus jeunes qui appréhendent la ville différemment (en termes de mobilité). D'autres auteurs développent le sujet comme Bastian et al. (2016) qui expliquent le phénomène par la crise économique de 2008.

Le lien entre le peak-car et la voiture autonome est mis en évidence par Stokes (2013), Thomopoulos et Givoni (2015) avec la possibilité que la VA inverse cette tendance et ramène une série de personnes qui s'étaient éloignées de la voiture à une utilisation plus intensive.

B.2. Caractérisation et limite

Wadud (Wadud et al., 2016) chiffre l'augmentation potentielle entre 2 et 10%, il obtient ce chiffre en rehaussant les chiffres d'utilisation des catégories de jeunes et de vieux à des niveaux d'utilisation similaire de la classe des 35-55ans (la plus consommatrice d'automobile). Il exclut cependant les jeunes de moins de 16 ans, ce qui nous semble non pertinent dans la mesure où à terme, des véhicules entièrement autonomes devraient pouvoir décharger les parents d'une partie des navettes à réaliser pour conduire leurs enfants, leur laissant le loisir de réaliser leurs propres trajets et multipliant les possibilités pour les enfants, également. Il faut cependant définir un âge en dessous duquel ces trajets ne seront pas envisageables, nous proposons l'âge de 7ans. Considéré comme l'âge de raison dans la psychologie de l'enfant (Chazals, 2017), c'est l'âge des premières responsabilités et de l'apprentissage. Soit pour le cas des Bruxellois 8% de la population en plus. Auxquels s'ajoute la part de Bruxellois ne possédant pas de permis. (37%)

Une autre approche serait de considérer cette augmentation en considérant le segment de la population qui se déplace le plus, c'est-à-dire les quadragénaires, et de généraliser leur propension à se déplacer à l'ensemble de la population. On obtient alors une augmentation de 70% du nombre de véh/km (VMT parcouru par l'ensemble de la population). Ce facteur doit cependant être corrigé en fonction des habitudes des tranches d'âge considérées et est ramené à +50%VMT (Brown et al., 2013).

L'augmentation totale se situant entre 2% et 50%.

Table 55 : possession du permis de conduire suivant la région

	Flandre	Wallonie	Bruxelles	Belgique
En apprentissage	4%	6%	9%	5%
Possèdent un permis	70%	65%	54%	67%
N'ont pas de permis	25%	29%	37%	28%
<i>Base</i>	4012	8044	3747	15803

Figure 9 : Taux de possession permis conduire. Source Beldam 2010

Pour le cas de Bruxelles, l'augmentation potentielle est importante en raison du nombre relativement plus faible de personnes possédant un permis de conduire.

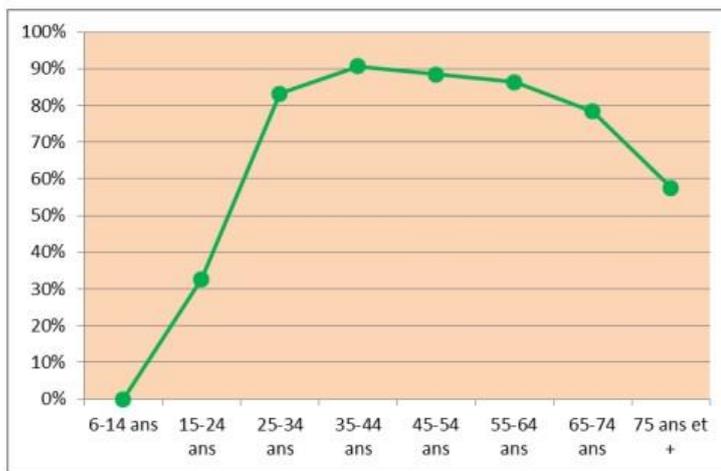


Figure 47 : taux de possession du permis suivant l'âge

Figure 10 : Taux possession par âge. Source : Beldam 2010

Le nombre d'enfants n'ayant pas accès à la voiture en raison des conditions d'obtention du permis de conduire est important, et se chiffre en centaine de milliers d'utilisateurs potentiels supplémentaires.

Population par phase du cycle de vie (9 phases) : 2016 (au 1er janvier)									
Total	0-2 ans	3-5 ans	6-11 ans	12-17 ans	18-29 ans	30-44 ans	45-64 ans	65-79 ans	80 ans et +
Région de Bruxelles-Capitale	53.554	51.574	90.773	75.882	205.264	287.574	267.163	105.921	50.185

Figure 11 : Population Bruxelloise par âge. Source IBSA

B.3. Synthèse des données et méthodologie

Augmentation potentielle du trafic comprise entre +2% et +50% à partir de VA niveau 5.

Au vu des résultats obtenus pour le cas particulier de Bruxelles, nous retiendrons une variation de 50% du trafic pour le niveau d'autonomie 5.

Variation de trafic en %	0% VA	100% VA 3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Ville sans condition	+0%	+0%	+0%	+25%	+50%	Trafic
Ville VA compatible	+0%	+0%	+0%	+25%	+50%	Trafic
Autoroute VA non comp.	+0%	+0%	+0%	+25%	+50%	Trafic
Autoroute VA comp.	+0%	+0%	+0%	+25%	+50%	Trafic

Tableau 5 : Variation du trafic (en %) en fonction de l'amélioration à l'accès à la mobilité (sans permis). Source : Nieuwland 2017

B.4. Conclusion

Il s'agit de l'une des réalités les plus concrètes de la voiture autonome : rendre la mobilité automobile accessible à tous, dans la mesure où elle l'est en termes techniques et qu'elle le devient en termes de moyens financiers. La question politique sera plus pertinente que jamais, sur base de quel critère limiterons-nous la mobilité des citoyens ? On notera qu'il faudra attendre les véhicules autonomes de niveau 5 pour voir l'apparition de ce phénomène. Les questions de coûts influencent bien entendu l'utilisation de la VA, elles seront traitées dans un point spécifique.

Condition : VA autonome à 100%, voiture partagée

Coût : accessible soit à l'achat, soit à l'utilisation (coût partagé)

C. AUGMENTATION DES DISTANCES PARCOURUES

C.1. Principe

Avec la VA, la possibilité est offerte au conducteur de réaliser d'autres tâches ou d'utiliser le temps passé dans la future voiture autonome comme temps de loisirs, laisse présager une possible augmentation des distances parcourues. Possibilité d'habiter plus loin de son lieu de travail, envisager des déplacements plus longs le w-e. (Bierstedt et al., 2014)

Litman arrive globalement à la même conclusion : en raison d'une diminution des coûts perçus, il faut s'attendre à une augmentation de la durée des trajets et à une augmentation de la distance moyenne par trajet. (Litman, 2015)

C.2. Caractérisation et limite

TABLE 2. INCREASE IN VMT PER CAPITA IN AUTO-DEPENDENT REGIONS				
Locations where Use Permitted	Market Penetration			
	25%	50%	75%	95%
Exclusive freeway lanes	+10%	+20%	+30%	+35%
Mixed freeway lanes and ramps	+5%	+10%	+20%	+30%
Auto-dominated arterials		+5%	+10%	+20%
All multi-modal streets			+5%	+10%
Without a legal driver aboard			+35%	+35%

TABLE 3. INCREASE IN VMT PER CAPITA IN MULTI-MODAL REGIONS				
Locations where Use Permitted	Market Penetration			
	25%	50%	75%	95%
Exclusive freeway lanes	+5%	+10%	+15%	+20%
Mixed freeway lanes and ramps	+0%	+5%	+10%	+15%
Auto-dominated arterials		+0%	+5%	+10%
All multi-modal streets			+0%	+5%
Without a legal driver aboard			+25%	+35%

Figure 12 : Augmentation VMT Source: Bierstedt et al., 2014

Pour Davidson, les ordres de grandeur sont similaires, +10% pour les premiers utilisateurs, +20% lorsque la VA sera généralisée.

Brown et al. (2013) estiment que l'ensemble des effets de l'introduction de la VA pourrait mener à une augmentation de 50% des VMT (vehicles miles travelled) ou encore des km parcourus par véhicule.

Pour Bierstedt (2014), il existe un certain nombre de facteurs qui peuvent avoir une influence significative sur le nombre de kilomètres parcourus par véhicule en anglais VMT (véhicule miles traveled) (Thomopoulos et Givoni, 2015)

- Le premier concerne le niveau de confort qui permet dès le niveau 3 de s'occuper différemment durant les trajets sur autoroute et dans les embouteillages et dès le niveau 4 en ville. Il y aura cependant toujours un conducteur désigné sur un siège prévu à cet effet.

- À partir du niveau 5 d'automatisation, les choses changent. Il n'y aura plus nécessairement une place réservée au chauffeur, et la position même du conducteur pourra être modifiée, avec la possibilité de s'allonger pour se reposer.
- Diminuant ainsi le coût perçu du trajet et permettant à la voiture autonome de reprendre des parts de marché sur la marche, le vélo et les TC. (Bierstedt, 2014)

C.3. Synthèse des données et méthodologie

Afin d'obtenir des résultats comparables, nous poserons l'hypothèse que toute augmentation de la VMT (en %) sera équivalente à une augmentation du trafic en % dans des proportions équivalentes. Cette hypothèse est acceptable, dans la mesure où globalement, les augmentations individuelles du nombre de km parcourus engendreront un nombre de véhicules plus important sur les routes. L'augmentation du trafic n'est ici pas dépendante de la connectivité, mais bien du niveau d'autonomie du véhicule et de la localisation. Nous reprendrons l'hypothèse de Bierstedt qui offre l'analyse chiffrée la plus détaillée, en faisant une distinction ville/autoroute. Nous prendrons l'hypothèse d'une région dépendante de la voiture. Pour les hypothèses autoroute VA3 et 4, nous reprendrons les données de la ligne « Exclusive freeway lanes » (figure 12), pour la ville en VA3 et 4 la ligne « all multi-modal streets » de la figure 12 et pour les VA5 les hypothèses « without a legal driver aboard » de la figure 12.

Variation du trafic en %	0% VA	100% VA 3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Ville	+0%	+5%	+10%	+25 %	+35%	Trafic
Autoroute	+0%	+10%	+20%	+25 %	+35%	Trafic

Tableau 6 : variation du trafic en fonction de l'augmentation des VMT. Source : Nieuwland 2017

C.4. Conclusion

Contrairement aux impacts positifs qui doivent attendre un taux de pénétration important avant de produire leur effet, cette augmentation se fera sentir dès l'apparition de la première VA. Et dans des proportions relativement importantes (+5% à + 50%)

D. VOYAGE À VIDE

D.1. Principe

Pour visualiser le phénomène, le plus simple est de se représenter un système de taxis, le véhicule parcourt avant et après sa course : une distance « sans client ».

Tant que les services de voiture autonome n'auront pas atteint une masse critique, les trajets à vide entre deux prises en charges de passagers seront importants. (Litman, 2015)

Si la voiture autonome devient un objet personnel et non partagé, le nombre de trajets à vide pour prendre en charge les différents membres de la famille pourrait être très important.

D.2. Caractérisation et limite

Pour Litman, l'augmentation due aux voyages à vide pourrait faire grimper de **75% le nombre de kilomètres parcourus par véhicule**, si celui-ci n'est pas partagé. La majorité des auteurs ne focalisent pas d'attention particulière sur ce phénomène. On notera qu'ils considèrent souvent le partage de la voiture autonome comme une condition acquise ou évidente.

L'impact sera faible en cas de voiture partagée, et particulièrement dans le cas de fortes densités d'utilisateurs, la distance avant la prise en charge de l'utilisateur suivant étant faible. Comme pour les transports en commun, la faible densité d'habitation restera un facteur limitant pour le déploiement de ces solutions de mobilité.

Impact fort en cas de véhicule personnel, la variation sera importante en fonction des distances entre le lieu d'habitation et les différents lieux de destination. Le facteur urbain restant pertinent dans une majorité des cas en offrant des destinations généralement proches.

Pour Fagnant, 2014, dans un contexte de VA partagée en ville, l'augmentation des VMT (véhicules miles travelled) ou km parcourus serait de 10%. Il s'agit des trajets effectués pour aller chercher le client suivant ou se repositionner à un endroit stratégique. Il est nécessaire de préciser que ce chiffre est obtenu pour une ville de 10 miles sur 10. **L'augmentation en condition réelle serait donc plus importante en raison des trajets « hors ville » et a fortiori encore plus importante dans un scénario où les véhicules resteraient la propriété privée de leurs utilisateurs.**

D.3. Synthèse des données et méthodologie

En cas de partage des véhicules, l'augmentation du trafic due aux trajets à vide sera limitée à 10% en ville et à 75% en cas de non partage. Notre hypothèse « autoroute » retiendra une augmentation légèrement supérieure afin de refléter les distances plus importantes qui séparent la prise en charge du client suivant. Pour la VA4, il semble réaliste de lui attribuer une valeur non nulle en raison de la possibilité déjà présente de lâcher le volant durant des laps de temps potentiellement importants.

Variation du trafic en %	0% VA	100% VA 3	100% VA4	50%VA5	100%VA5	Impact
Ville VA non partagée	+0%	+0%	+25%	+35%	+75%	Trafic
Ville VA partagée	+0%	+0%	+0%	+5%	+10%	Trafic
Autoroute VA non part.	+0%	+0%	+35%	+45%	+90%	Trafic
Autoroute VA partagée	+0%	+0%	+10%	+15%	+20%	Trafic

Tableau 7 : Variation du trafic (en %) en raison des voyages à vide. Source : Nieuwland 2017

D.4. Conclusion

Impact variable en fonction du partage ou non des véhicules et en fonction de la densité de population. Il s'agit donc d'un second facteur spatial que nous simplifierons en faisant appel à la distinction Ville/ Autoroute.

Condition : Véhicule partagé, véhicule covoituré, véhicule autonome niveau 5

3.2.4. IMPACT EN TERMES DE COÛTS

Les coûts ont une importance majeure dans la diffusion et l'utilisation de la VA. Quatre aspects seront étudiés : la variation de la valeur du temps (coût du temps), la variation du coût des véhicules, la variation du coût des infrastructures et enfin le principe de l'effet rebond et/ou effet d'appel.

A. VARIATION DE LA VALEUR DU TEMPS DURANT LES TRAJETS

A.1. Principe

La notion de "valeur du temps" est la valeur relative du temps perçu par l'utilisateur. Le conducteur d'une voiture n'a actuellement pas l'occasion d'utiliser son temps de manière rentable. Le temps de conduite peut actuellement être considéré comme du temps « perdu », ce qui ne sera plus le cas avec la voiture autonome. (Wadud et al., 2016) (van den Berg et Verhoef, 2015) (Bierstedt et al., 2014) (Goguen et al., 2015) (Davidson et Spinoulas, 2015) (Thomopoulos et Givoni, 2015) (van den Berg et Verhoef, 2015)

A.2. Caractérisation et limite

Les différents auteurs qui traitent cette question estiment que la réduction du stress pour le chauffeur et la possibilité de faire autre chose durant le trajet (Litman, 2015) vont conduire à une augmentation de la durée des trajets et de la distance parcourue. Selon Davidson cette augmentation serait relativement importante pour les passagers de voitures autonomes, ce qui mènerait à une augmentation importante des problèmes de circulation, en raison du trafic mixte (voiture autonome et voiture avec conducteurs), les bénéfices de l'introduction de la voiture autonome n'arrivant que plus tard. (Davidson et Spinoulas, 2015)

A.3. Synthèse des données et méthodologie

On notera que les effets d'augmentation de trajets et/ou de distances ont déjà été pris en compte dans les points précédents.

A.4. Conclusion

Une conclusion importante de ce point est que l'augmentation de la durée des trajets et des distances parcourues précèdera les avantages d'augmentation des capacités des infrastructures. Rappelons que la période de transition pour atteindre 75% de véhicules autonomes pourrait durer entre 10 et 20ans.

Condition : pas de condition identifiée

B. VARIATION DES COÛTS DU VÉHICULE

B.1. Principe

La VA aura la capacité de réduire une série de coûts : réduction des coûts du transport commercial et des taxis (Litman, 2015), réduction des coûts d'assurance, réduction du coût de parking en déposant le passager à destination et en allant chercher une place toute seule. Le véhicule ayant la possibilité de chercher un parking gratuit, aussi loin que nécessaire (Anderson et al., 2016) voire même de ne pas se garer du tout. La réduction des coûts est aussi possible en termes de consommation de carburant. Mais aussi réduction des coûts d'équipement en éléments de sécurité soit les coûts d'achat. (Litman, 2015)

L'ensemble de ces réductions de coûts sera cependant probablement compensé dans un premier temps par l'augmentation du coût des véhicules due à l'équipement embarqué et la rentabilisation des coûts de recherche et développement. (Bierstedt et al., 2014) (Steer et al., 2016) (Anderson et al., 2016) (Knight, 2013). Pour plusieurs auteurs, à terme, cette diminution des coûts du transport engendrera une augmentation des trajets (nombre et/ou distance) (Litman, 2015) (van den Berg et Verhoef, 2015) (Davidson et Spinoulas, 2015). (Anderson et al., 2016).

B.2. Caractérisation et limite

En matière de coûts, les estimations chiffrées varient encore fortement, tant au niveau de la réduction des coûts d'utilisation que de l'estimation des augmentations de coûts à la construction.

Will Knight (2013) met en évidence, qu'une partie de la technologie nécessaire à la réalisation d'une voiture autonome n'existe tout simplement pas encore. Il ajoute qu'une des technologies les plus avancées en matière de radar embarqué est le système LIDAR qui coûte encore 80 000\$ pièces. Il faut donc envisager une période durant laquelle, la technologie « autonome » représentera un surcoût important, avant de progressivement diminuer. Pour Litman (2015), il faudra compter entre 1000 et 3000\$ de surcoût annuel en partie compensé par un gain de 500\$ sur les carburants et les assurances.

B.3. Synthèse des données et méthodologie

Pas d'application.

B.4. Conclusion

Si la période d'introduction de la VA présente de nombreuses incertitudes en termes de coût, on peut raisonnablement estimer que l'effet net à terme sera une diminution des coûts du transport. Cette diminution du transport aura un impact direct sur l'accessibilité des services de transport (en hausse) et sur l'utilisation de ces services de transport (en hausse également).

Condition : pas de condition identifiée.

C. VARIATION DES COÛTS DES INFRASTRUCTURES

C.1. Principe

Si la majorité des futures voitures autonomes sera capable de se débrouiller seule pour amener ses passagers à destination, leur connectivité aux autres véhicules et aux infrastructures devraient grandement leur faciliter la tâche. En effet, si le feu de circulation « communique » le temps restant avant de changer de phase, la voiture peut « anticiper » la vitesse à laquelle elle doit se déplacer pour avoir la phase verte sans s'arrêter. L'équipement des infrastructures a évidemment un coût.

Pour les défenseurs de la voiture autonome, ces coûts seront largement compensés par les bénéfices en matière de mobilité et d'environnement.

C.2. Caractérisation et limite

Litman met en avant une augmentation des coûts liée à l'infrastructure routière sans préciser qui devrait supporter l'augmentation et sans la chiffrer (Litman, 2015).

Rappelons que si la VA entraîne des bénéfices, ils seront principalement le fait des utilisateurs de la voiture autonome, qui ne subiront plus les désagrèments de la congestion. La réalisation des infrastructures sera quant à elle supportée par l'ensemble de la collectivité. On notera qu'à ce jour, nous n'avons trouvé qu'une seule étude fournissant une estimation chiffrée des travaux d'infrastructures nécessaires, soit 15 milliards d'€ à l'horizon 2030 pour le territoire du Royaume Unis (Asconchilo et al., 2015). Le document ne fournit aucun détail sur la méthode de calcul de cette estimation, ni d'explication sur ce qu'elle représente. Cette estimation fait partie d'une analyse globale - coûts bénéfices - réalisée par le bureau anglais de KPMG.

Si d'autres auteurs évoquent la possibilité d'adapter l'infrastructure, il semble que la majorité des développeurs font actuellement le choix d'embarquer l'ensemble de la technologie nécessaire à la navigation. Ce choix peut s'expliquer pour des raisons logistiques, en termes de temps et de confidentialité. En effet, la voiture autonome n'existant pas encore à ce jour, il est difficilement envisageable d'équiper dès à présent les routes ne sachant pas de quelles informations la voiture aura besoin. De plus, si une voiture autonome n'est pas capable de se déplacer sans le concours d'une infrastructure connectée, la vente de ces véhicules sera limitée aux régions équipées. Il s'agit là d'un risque financier important. De plus, on peut mettre en évidence la difficulté de maintenir, à jour, un large réseau routier connecté. Il suffit pour cela de penser au vote électronique et à la vétusté du matériel utilisé. On peut cependant penser que dans le futur en cas de convergence technologique, le développement d'une infrastructure commune est envisageable à plus long terme.

C.3. Synthèse des données et méthodologie

Pas d'application.

C.4. Conclusion

S'il existe de nombreux auteurs travaillant sur des systèmes d'équipement des routes, la plupart ne sont pas directement liés à la voiture autonome et un seul fournit des estimations chiffrées.

On notera cependant que pour Litman (2015): "To be prudent, such infrastructure changes should only occur after autonomous vehicle benefits, affordability and public acceptance are fully demonstrated" (Litman, 2015. p18)

Condition : pas de condition identifiée.

D. EFFET D'APPEL ET EFFET REBOND

D.1. Principe

Une diminution du trafic et de la congestion à un moment X induirait un effet d'appel et/ou un effet rebond. (Steer et al., 2016) (Litman, 2015) (Bierstedt et al., 2014) (Anderson et al., 2016).

- La création de nouvelles infrastructures routières, comme l'élargissement du Ring autour de Bruxelles, incite un nombre plus important d'automobilistes à utiliser ladite infrastructure. On constate généralement que la saturation est de retour entre 5 et 10 ans après sa mise en service. On nomme « effet d'appel » cette « création de trafic » (Modal Shift, 2010).
- L'effet rebond peut, lui, être supérieur aux bénéfices engendrés (l'efficacité énergétique de la voiture en est un bon exemple), les gains en matière de consommation rendent le moyen de déplacement accessible à un plus grand nombre d'utilisateurs et augmente l'impact des utilisateurs traditionnels.

En matière d'effet rebond, il y a aussi lieu de considérer l'étalement urbain.

Pour Mulligan (Mulligan, 2014) si la voiture autonome permet de réaliser un gain de temps sur les trajets en raison des différents avantages énumérés ci-avant, ce gain sera utilisé par les navetteurs pour atteindre des régions plus éloignées de leur lieu de travail afin d'y acquérir des biens (terrains, maisons...) comparativement moins chers.

D.2. Caractérisation et limite

L'effet d'appel est d'une amplitude égale au gain réalisé (diminution du trafic), l'effet rebond peut être lui supérieur à la diminution, vu qu'il prend en compte une éventuelle diminution des coûts et une diminution de la valeur du temps passé dans le véhicule (possibilité de pouvoir travailler, regarder un film...) qui induirait une utilisation supérieure.

Il est difficilement quantifiable indépendamment, il dépend en effet des gains attendus de l'introduction de la technologie étudiée, ici la VA.

D.3. Synthèse des données et méthodologie

Pour représenter cet effet, nous limiterons d'un facteur de 10% les possibilités de réduction du trafic de la VA5 non partagée et de 20% la VA partagée (pour tenir compte de la baisse du prix liée au partage des coûts). Cet effet ne s'appliquera que si le gain est significatif. L'impact sera sans doute plus important, mais en l'absence de chiffres d'autres auteurs, nous préférons sous-estimer les effets négatifs afin de ne pas prêter le flanc à la critique.

D.4. Conclusion

Ces deux effets combinés ont la capacité d'annuler tous les bénéfices engrangés. Dans la mesure où le VA ne propose pas de diminuer les causes d'une surutilisation de la voiture mais uniquement d'apporter des solutions aux conséquences négatives de la voiture actuelle.

Condition : pas de condition identifiée.

3.2.5. CONCLUSION DE LA PARTIE IMPACTS SUR LA MOBILITÉ

En matière d'analyse de la mobilité, on notera la nécessité d'établir une distinction temporelle claire entre la phase de transition vers une voiture autonome (niveaux 3, 4 et 5) et l'hypothèse d'une généralisation d'une VA de niveau 5, certains effets positifs n'apparaissant qu'à partir de ce moment.

On notera aussi l'importance de faire une distinction spatiale entre les autoroutes (et autres voies rapides) et la ville, les effets positifs se concentrant sur les voiries réservées à la voiture.

En matière de sécurité, nous avons appris que si les gains en la matière semblent réels, ils se feront au détriment de la fluidité du trafic mais aussi que le risque zéro n'existe pas, en raison de l'impossibilité de faire totalement disparaître le facteur humain. Pour l'auteur, les résultats en matière de sécurité semblent l'aspect le plus solide de l'argumentaire en faveur de la voiture autonome et participeront grandement à l'acceptation de la technologie.

Le second avantage mis en évidence est un gain d'espace en ville, à condition que les voitures autonomes soient partagées à 100% (changement de paradigme important), ce qui réduirait l'espace dédié au stationnement.

On notera que les effets seront globalement négatifs durant la période de transition et qu'il existe une forte incertitude sur les capacités de la voiture autonome à apporter, à terme, une solution à la congestion automobile, notamment en raison de l'augmentation de la demande de mobilité que pourrait induire la voiture autonome (nombre d'utilisateurs décuplé, intensification des usages et voyages à vide). Cette incertitude dépend d'une série de conditions qui seront étudiées au chapitre 4.

Dans la mesure où le VA ne propose pas de diminuer les causes d'une surutilisation de la voiture mais uniquement d'apporter des solutions aux conséquences négatives de la voiture actuelle, on peut s'attendre à avoir un effet d'appel et un effet rebond capables de réduire voire d'annuler les éventuels bénéfices en matière de mobilité.

A. TABLEAU RÉCAPITULATIF DES IMPACTS (VÉRIFICATION DE L'ASPECT CUMULATIF)

Certains auteurs, comme Litman (2015), critiquent les défenseurs de la VA en raison de doubles comptages de certains avantages. En effet, l'augmentation de la sécurité (diminution des accidents) influence l'augmentation de la capacité de la route. Il faut donc soustraire l'un de l'autre. Nous vérifions ici que les différents impacts qui seront pris en compte dans le chapitre 5 ne font pas l'objet d'un double comptage. Sont dits « cumulatifs » les impacts que nous considérons comme additionnables. Pour ceux non repris, il s'agit soit d'information manquante, soit d'une volonté d'éviter un double comptage.

Impact	Vérification aspect cumulatif
Capacité de la route	Cumulatif
Réduction de la congestion due aux accidents	Cumulatif
Meilleure gestion du trafic	Cumulatif
Gain d'espace	Non pris en compte
Suppression Transfert modal	Non pris en compte
Accès mobilité	Cumulatif
Distance parcourue	Cumulatif
Voyage à vide	Cumulatif
Effet rebond	Cumulatif si bénéfice net
Coût	Incidence prise en compte dans les autres domaines
Valeur du temps	Incidence prise en compte dans les autres domaines
Etalement urbain	Incidence prise en compte dans les autres domaines

3.3. IMPACT D'UN POINT DE VUE ENVIRONNEMENTAL

L'objectif de ce point est de recenser les différents impacts en matière d'environnement que pourraient avoir l'introduction et la généralisation de la voiture autonome. Seuls les impacts non traités dans la partie mobilité seront repris. On notera que les variations de trafic étudiées précédemment représentent une partie importante des impacts sur l'environnement.

Les impacts restant concernent des réductions de la consommation obtenue grâce à des réductions de poids (réduction puissance du moteur, right-sizing,...), au platooning et à l'éco-conduite. (Morrow et al., 2014)

3.3.1. LA PROBLÉMATIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

A. CARACTÉRISATION

Réchauffement climatique

A l'heure actuelle, le secteur du transport représente près du quart des émissions globales de CO₂. C'est aussi l'un des secteurs qui connaît la plus forte croissance avec celui de la production d'électricité.

Quatre facteurs déterminent la production de CO₂ du secteur des transports :

Le nombre de véhicules x distance moyenne parcourue x consommations moyennes en carburant x quantités de carbone par type de carburant. Les politiques ont le choix d'agir sur un ou plusieurs de ces facteurs pour diminuer la production de CO₂. (Zachariadis, 2012)

Pour Thomopoulos et Givoni (2015), notre mobilité peut être décrite comme hautement carbonée et les politiques de mobilité doivent tendre à développer une mobilité bas carbone. L'objectif de ce chapitre sera de voir si l'introduction de la voiture autonome participe à cet objectif.

Qualité de l'air

L'utilisation de moteurs à combustion qu'il s'agisse de diesel ou d'essence, entraîne la production d'une série de polluants : CO, Nox, COV, SO₂, ainsi que la diffusion de particules fines PM₁₀ et PM_{2,5}. Comme pour le réchauffement climatique, les quatre mêmes facteurs déterminent la production de ces différents polluants par le secteur du transport. On notera que les deux premiers facteurs sont essentiellement influencés par la mobilité traitée au point précédent. L'essentiel de ce chapitre portera sur la consommation moyenne qui pourra être influencée par des aspects techniques comme l'efficacité énergétique et par une modification des comportements (types de conduite).

Bruit

Bien que la problématique soit d'importance, la voiture autonome n'aura, semble-t-il, aucun impact sur les nuisances sonores dues au trafic automobile.

Consommation d'espace

L'espace dédié à la mobilité a un impact important sur l'environnement, l'accroissement des besoins en mobilité et l'extension des réseaux modifient les paysages et créent des barrières parfois infranchissables ou des couloirs pour la mobilité des espèces animales.

3.3.2. Impact de l'augmentation du trafic

Le nombre de véhicules et la distance moyenne parcourue sont deux des quatre éléments qui déterminent l'impact de la mobilité sur l'environnement. La partie mobilité de ce chapitre a étudié en détails les variations possibles de ces deux premiers éléments. Ils ne seront donc pas réétudiés ici.

Dans la mesure où ils représentent une partie significative des impacts, les résultats de la première partie seront utilisés dans l'analyse globale des impacts sur l'environnement.

A. AUGMENTATION DU NOMBRE DE TRAJETS

Voir partie 3.2 impact sur la mobilité

B. VOYAGE À VIDE

Voir partie 3.2 impact sur la mobilité

C. RÉDUCTION EMBOUTEILLAGE (ACCIDENT ET CONGESTION)

Voir partie 3.2 impact sur la mobilité

Si une augmentation du nombre de trajets augmente l'impact du véhicule sur l'environnement de manière proportionnelle, les gains réalisables en raison d'une diminution de la congestion sont plus difficilement quantifiables. Pour Wadud et al. (2016) la disparition complète de la congestion pourrait entraîner une diminution de la consommation de l'ordre de 2 à 4%. On notera la faiblesse de ce gain potentiel.

3.3.3. Diminution de la consommation et de la pollution

A. ECO-CONDUITE

A.1. Principe

Les véhicules autonomes pourront être programmés pour adopter un style de conduite qui réduit au maximum la consommation. En attendant l'arrivée de la voiture 100% autonome, plusieurs études référencées par Wadud en 2016 montrent l'intérêt de développer une assistance à la conduite capable de fournir des conseils en temps réel au conducteur. Ce type d'information existe déjà, en conseillant par exemple le meilleur moment pour changer les rapports de la boîte de vitesses. (Wadud et al., 2016)

A.2. Caractérisation et limite

Un conducteur sensibilisé pourra atteindre entre 15 et 20% de diminution de la consommation, le problème étant qu'il est difficile de convaincre tous les conducteurs d'adopter une conduite écologique et que même les conducteurs convaincus n'appliquent généralement pas l'ensemble de ces principes dans toutes les situations. Selon Wadud (2016), l'avantage de la voiture autonome sera de généraliser ces principes et de les appliquer dans 100% des situations. Le même auteur relativise son propos en soulignant que les pratiques de l'éco-conduite de limitation de la vitesse et d'accélération lente, ont un effet négatif sur les capacités de la route et sur la saturation du réseau.

Notons que certains auteurs (Orfila, 2011) (Qian et Chung, 2011) (Kobayashi et al., 2007) (Berry, 2010) considèrent que le gain pourrait être nul voire négatif en raison de la généralisation de ces deux effets (accélération lente et vitesse faible) dans un contexte de trafic intermédiaire (gain en cas de route libre ou fortement engorgée) (Orfila, 2011).

Pour Brown (2013), le gain dépend en partie du type de conducteur qu'il remplace. Il peut aller de 15% pour un conducteur « classique » et de 20 à 30% pour un conducteur à la conduite agressive.

A.3. Synthèse des données et méthodologie

Pour les scénarios environnement, nous retiendrons la valeur de -5% de la consommation. Nous prenons l'hypothèse que les gains en matière d'environnement primeront sur la mobilité.

A.4. Conclusion

Une généralisation des principes de l'éco-conduite pourrait mener à une diminution de la fluidité du trafic, si ces principes sont appliqués dans une circulation congestionnée au moment de l'introduction des VA. Les bénéfices varieront donc entre -5 et +15% de diminution de la consommation. Comme pour la sécurité, il apparaît qu'on ne peut pas gagner sur tous les tableaux, des choix sont nécessaires, des gains environnementaux peuvent être réalisés mais au détriment de la mobilité ou inversement.

Condition : pas de condition identifiée

B. LIMITATION DE LA PUISSANCE

B.1. Principe

S'il n'y a plus de conducteur et que la communication entre les véhicules est optimale, le véhicule pourrait ne plus avoir besoin de la même puissance d'accélération et ce sans changer ni la vitesse de pointe, ni le confort des utilisateurs. En effet, on peut imaginer qu'avec l'apparition des VA5, les « utilisateurs » de ce type de véhicule souhaiteront occuper leur temps différemment. Il est dès lors envisageable que le confort soit donc synonyme d'une conduite souple et sans à-coups, le besoin de puissance diminuant en conséquence.

B.2. Caractérisation et limite

Wadud propose que les véhicules retrouvent une puissance équivalente à celle des véhicules des années 80 (Wadud et al., 2016). La limitation de la puissance des moteurs entraînerait des possibilités de réduction de poids. Le bénéfice se chiffrerait entre 5 et 23% de gains de consommation (Wadud et al., 2016).

On notera que la réduction de puissance ne pourra s'envisager que pour les premiers modèles de voitures 100% autonomes (Niveau 5). En effet, pour les niveaux 3 et 4, le conducteur sera amené à reprendre le contrôle du véhicule dans certaines situations et il faut envisager que les conducteurs veuillent conserver les caractéristiques de puissance de leur véhicule. Cette diminution peut par contre s'envisager dès l'apparition des voitures autonomes dans la mesure où l'anticipation et la capacité de freinage des véhicules autonomes permettront d'en assurer la sécurité.

B.3. Synthèse des données et méthodologie

Les gains en matière de puissance sont repris dans le point E « Right Sizing » (voir point E, deux points plus bas)

B.4. Conclusion

Réduction potentielle de la consommation comprise entre 5 et 23%, dès l'apparition des voitures 100% autonomes.

Condition : véhicule autonome à 100%

C. PLATOONING

C.1. Principe

Le fait de rouler en convoi (Wadud et al., 2016) permet de réduire le frottement et la résistance à l'air des véhicules, diminuant nettement l'énergie consommée. Des véhicules roulant suffisamment proches, l'un de l'autre, se comportent comme un seul véhicule.

C.2. Caractérisation et limite

Entre 3 et 25% de gains en conditions particulières (Wadud et al., 2016) c'est-à-dire essentiellement sur autoroute. Réduction de 20% de la consommation en carburant pour Knight 2013 (pour des trajets rapides sur autoroute).

Pour Brown (Brown et al., 2014), l'effet est très difficile à caractériser. Il dépend du temps passé sur autoroute, de la vitesse du convoi et du nombre de véhicules. Brown estime que si le bénéfice est de 20% sur autoroute, il peut être estimé à un gain global de 10% pour les trajets comprenant 50% d'autoroutes.

Par opposition, on notera que les bénéfices en ville sont nuls en raison des vitesses insuffisantes.

Pour Barth (Barth et al. 2014) en cas de non communication entre les véhicules, les temps de décision d'une VA pourraient être comparables aux réflexes humains, limitant la possibilité de rouler en convoi au seul modèle compatible.

C.3. Synthèse des données et méthodologie

La valeur retenue pour le platooning est de -10% de la consommation, nous posons donc l'hypothèse de trajets à 50% sur autoroute.

C.4. Conclusion

Si le gain est réel, il est cependant limité à une utilisation sur autoroute. De plus, la condition de compatibilité est, ici, aussi nécessaire. L'effet sera généralisable en fonction de la proportion de VA dans le parc automobile.

Condition : compatibilité, analyse spatiale

D. DIMINUTION DU POIDS DES VÉHICULES

D.1. Principe

En raison de la diminution, voire de la disparition des éléments de sécurité, des réductions de poids sont envisageables. (Les autres gains en matière de poids sont traités dans des points séparés, voir : limitation puissance et véhicule adapté).

D.2. Caractérisation et limite

Les diminutions potentielles engendreront entre 18 et 23% de consommation en moins (Wadud et al., 2016), à condition que la diminution du nombre d'accidents donne à tous les conducteurs de VA l'envie d'acheter des véhicules compacts. Nous ne tiendrons pas compte de cette hypothèse extrême, nous lui préférerons celle de MacKenzie et al. (2014) qui estime le gain en poids à 7,7%, soit une diminution de la consommation de 5.5%.

Pour Brown, il est possible d'obtenir 6-8% de réduction de la consommation pour chaque réduction de 10% du poids total du véhicule.

Nous noterons les mêmes remarques que pour le chapitre mobilité : la réduction réelle des accidents ne pourra être envisagée que dans un environnement comprenant 100% de VA, ce qui ne surviendra qu'à long terme et sur autoroute. La circulation en milieu urbain ne pourra être envisagée sans accident qu'au prix d'une prudence qui diminuera fortement les performances des véhicules autonomes.

Il faut ensuite noter que durant les 30 dernières années, et malgré une volonté politique affichée d'orienter la production des véhicules vers une réduction de la consommation et des émissions de polluants, les véhicules n'ont cessé de s'agrandir (hauteur, largeur) de s'alourdir. (Chimits, 2015)

Cette tendance est en partie due à une amélioration de la sécurité et en partie à l'amélioration du confort des utilisateurs. Donc, même si à terme les éléments de sécurité pourraient disparaître, il n'est pas évident d'en conclure que le poids des véhicules diminuerait en proportion.

Enfin, durant la période d'introduction, le véhicule devra ajouter l'ensemble des composants nécessaires à son autonomie (radar, ordinateur...), ce qui constituera momentanément une augmentation du poids du véhicule.

D.3. Synthèse des données et méthodologie

En matière de gain de poids, l'ensemble des gains des véhicules partagés seront comptabilisés dans le point E « Right Sizing », pour les autres véhicules nous retiendrons une réduction de 10% de la consommation.

D.4. Conclusion

Chaque diminution de 10% du poids des véhicules entraîne une diminution de la consommation de 6-8%. Nous retiendrons que durant la phase de transition vers un parc automobile 100% autonome, une diminution des équipements de sécurité n'est pas envisageable et qu'à terme, au vu de l'évolution des caractéristiques techniques des véhicules sur les 30 dernières années, rien ne permet d'affirmer que cette réduction sera effective.

Condition : augmentation effective de la sécurité (100% de VA) + compatibilité des systèmes de communication inter-véhicules.

E. VÉHICULE ADAPTÉ AU BESOIN

E.1. Principe

Aussi appelé « right sizing », le principe est simple : il s'agit de fournir à l'utilisateur un véhicule adapté à ses besoins. Le partage des véhicules offre la possibilité d'avoir une plus grande spécialisation des véhicules. Actuellement, les véhicules pour particuliers sont conçus pour répondre à tous les besoins du propriétaire, du petit trajet seul en ville, au déplacement de sa famille complète sur une longue distance. L'adaptation des véhicules aux besoins rendra une majorité du parc automobile plus petit, plus léger. On économisera ainsi de l'énergie, de la place dans le trafic et de l'espace lors du stationnement des véhicules. (Wadud et al., 2016) (Mulligan, 2014) (Anderson et al., 2016) (ITF, 2016) (Brown et al., 2013).

E.2. Caractérisation et limite

Il s'agit d'un cas particulier du point précédent, qui aboutit à une diminution drastique du poids des véhicules, pouvant aller jusqu'à 50% selon Brown (Brown et al., 2013). Cette diminution comprend les gains en matière de sécurité et de réduction de la puissance.

Pour que la diminution soit effective, il est impératif que les voitures soient partagées et gérées par des opérateurs importants afin d'avoir une flotte suffisamment large qui permette de fournir le bon véhicule à la bonne personne.

On notera que, dans une vision de mobilité durable, l'utilisation de véhicules individuels est sans doute contestable (en dehors du vélo électrique), on lui préférera des véhicules légèrement plus importants avec un travail sur le taux de remplissage (covoiturage)

Ici aussi, le facteur déterminant n'est pas l'autonomie de la voiture mais bien l'adaptation du véhicule aux besoins du client, la limitation ne venant pas du manque d'autonomie de nos véhicules mais bien du modèle de propriété. C'est la voiture partagée qui permet la voiture adéquate (La diffusion du modèle de voiture partagée sera étudiée au chapitre 4).

Si la propriété des véhicules reste au niveau du vendeur /constructeur du véhicule, il est tout à fait envisageable de proposer, dès maintenant, un pack de mobilité avec un véhicule de base de faibles dimensions, et de disposer à la demande de véhicules de grandes dimensions pour le transport de charges ou adaptés aux déplacements familiaux. De plus, la facilité de réservation et de disponibilité des véhicules ne dépend pas non plus du caractère autonome de la voiture mais bien des applications développées pour smartphone. La difficulté principale réside dans l'abandon de la propriété et dans l'acceptation du partage de véhicule.

La problématique, du point de vue du fournisseur de services, reste la même, il lui faut une réserve suffisante de modèles différents pour pouvoir répondre à tout moment à la demande. Pour offrir un service de qualité, une réservation sera préférable. Ce service pourrait donc être mis en œuvre dès à présent, seule la possibilité de se faire livrer le véhicule à domicile à faible coût varierait.

E.3. Synthèse des données et méthodologie

Nous retiendrons l'hypothèse d'une réduction de 50% de la consommation. Dans les scénarios où les véhicules sont partagés.

E.4. Conclusion

Réduction potentielle de 50% de la consommation pour les véhicules partagés (proportionnel au % de véh. partagé)

Condition : véhicule partagé ou au minimum évolution forte du modèle de propriété.

F. UNE AUGMENTATION DES LIMITES DE VITESSE

F.1. Principe

La plupart des limitations de la vitesse existent pour améliorer la sécurité de tous les utilisateurs. Seules les alertes « Smog » ont pour objectif de limiter la production de polluants. Si la généralisation de la voiture autonome est synonyme d'une sécurité renforcée, il sera difficile de continuer à limiter la vitesse au niveau actuel (du moins sur les voiries réservées aux voitures).

F.2. Caractérisation et limite

Pour Brown, l'augmentation globale de la consommation, en tenant compte de l'augmentation de la vitesse, de la proportion des trajets réalisés sur autoroute, de l'amélioration de l'aérodynamisme, pourrait atteindre +30%.

Pour Wadud et al. (2016), l'augmentation de la consommation pourrait varier entre -7 à +22% (Wadud et al., 2016).

Si l'on observe les tendances à long terme et la nécessité de développer une mobilité bas carbone, on peut imaginer, dans une optique favorable à l'environnement, que l'on pourrait limiter strictement la vitesse en fonction d'un objectif de réduction des émissions de CO₂, et donc envisager une diminution de la consommation. On notera que, paradoxalement, si la possibilité de rouler en sécurité à haute vitesse augmente avec l'apparition des voitures autonomes, en raison des possibilités d'occuper son temps de manière productive, la limitation de la vitesse semble politiquement plus facilement envisageable.

De plus, une augmentation des limitations de vitesse pourrait renforcer la congestion aux entrées des villes.

F.3. Synthèse des données et méthodologie

Nous retiendrons l'hypothèse pessimiste d'une augmentation des limites de vitesse entraînant une augmentation de 10% de la consommation.

F.4. Conclusion

Selon les différents auteurs, la consommation en fonction de la vitesse pourrait varier entre -7% et +30%

Condition : régulation politique. Gain proportionnel au nombre de véhicules autonomes (facteur temporel).

3.3.4. CONCLUSION DE LA PARTIE ENVIRONNEMENT

Comme évoqué en introduction de cette partie, l'impact de la circulation sur l'environnement dépend essentiellement de 4 facteurs : le nombre de véhicules \times la distance moyenne parcourue \times la consommation moyenne en carburant \times la quantité de carbone par type de carburant.

En ce qui concerne les deux premiers facteurs, la majorité des éléments ont été traités dans la partie mobilité.

Pour la consommation moyenne en carburant, on notera que l'essentiel des gains évoqués dans cette partie se situe au niveau d'une diminution du poids et de la vitesse des véhicules mais aussi du platooning et d'une généralisation des principes de l'éco-conduite.

Pour la diminution de poids due à la diminution de puissance, les gains sont envisageables dès l'apparition des véhicules autonomes.

Pour celle liée à la disparition des éléments de sécurité, il faudra attendre que 100% des voitures soient autonomes mais les besoins en confort des passagers pourraient annuler tout ou une partie des bénéfices attendus.

Pour le « right sizing » on notera qu'il dépend principalement d'un changement du modèle de propriété et que ce changement pourrait intervenir indépendamment et avant l'apparition des véhicules autonomes.

Pour le platooning, nous retiendrons que les gains seront réels mais limités spatialement aux autoroutes.

Enfin, pour la généralisation de l'éco-conduite, nous avons mis en évidence l'importance de poser un choix politique entre les gains de mobilité et les gains environnementaux.

En ce qui concerne le type de carburant utilisé, nous noterons simplement qu'il s'agit d'une problématique indépendante de la voiture autonome.

Comme pour le chapitre des impacts sur la mobilité, une partie importante des bénéfices attendus repose sur une série de conditions qui seront traitées au chapitre 4.

Vous trouverez aux pages suivantes, un tableau et un schéma récapitulatif des impacts sur l'environnement.

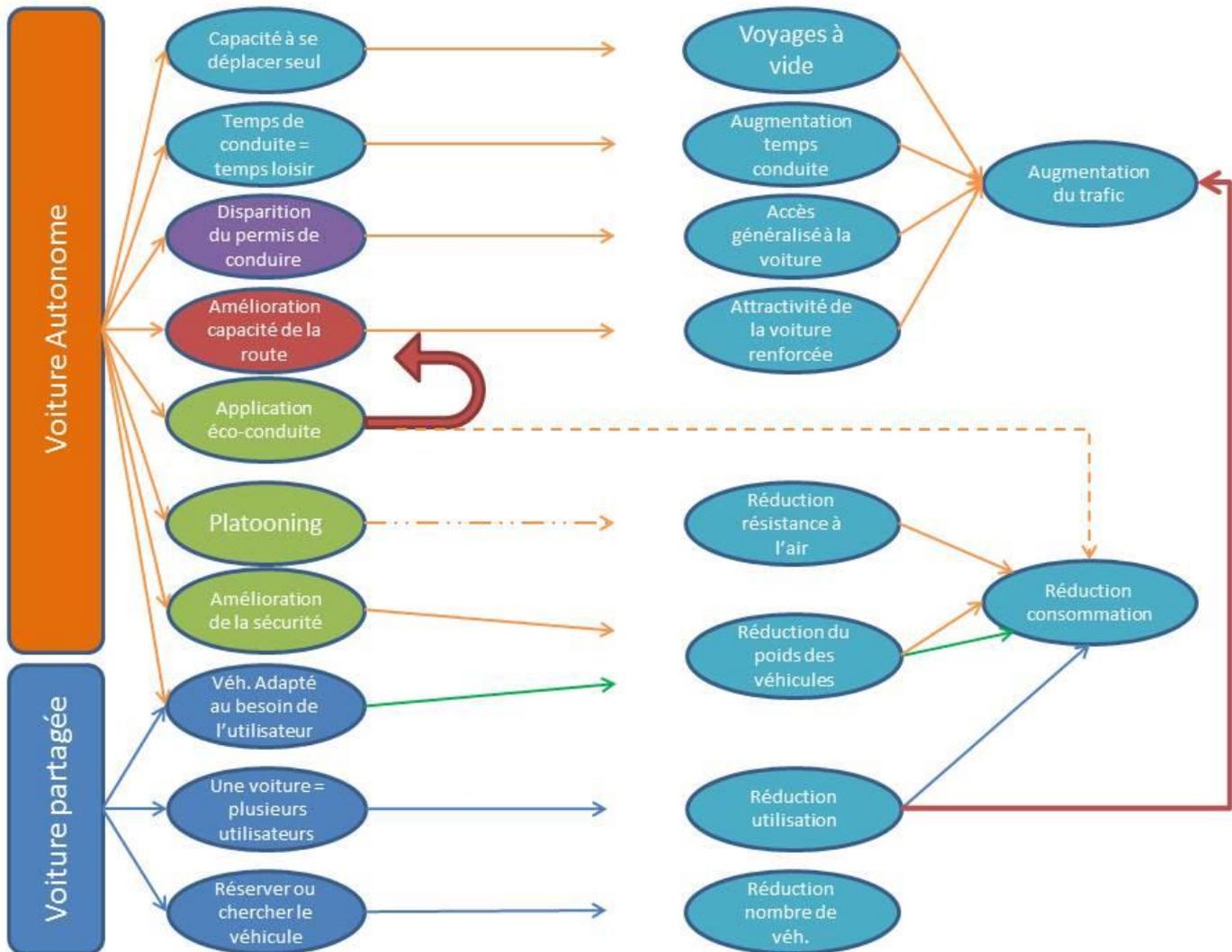
Tableau récapitulatif des données chiffrées spécifiques à l'environnement.

Facteurs	Variation	Condition	Aspect cumulatif	Valeur retenue
Eco-conduite	-15% à + 5%	Dépend de la densité de trafic	-	-5%
Diminution puissance	-23% à -5%	Véhicule 100% autonome	Repris dans le right sizing et l'éco-conduite	-
Diminution élément sécurité	-25% à -3%	100% de VA	-	-10%
Right Sizing	-50%	Partage des véhicules	Non cumulatif (reprend l'ensemble des diminutions de poids)	-50%
Platooning	-10%	Proportionnel au nombre de VA	-	-10%
Variation de la vitesse	-7% à +30%	Proportionnel au nombre de VA	-	10%

Tableau 8 : Récapitulatif impact environnement. Source : Nieuwland 2017

Les différentes conditions empêchent de considérer ces différentes variations comme « additionnables ». On ne peut donc faire de total, excepté via la création de « scénarios ». Un scénario environnement sera élaboré dans le chapitre 5 qui permettra de déterminer le gain potentiel en utilisant les variations dues à la mobilité et à la consommation.

3.4. SCHÉMA SYSTÉMIQUE DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT



Légende :

Flèche orange : VA (Voiture autonome)

Flèche Bleu : VP (voiture partagée)

Flèche verte : VP et VA

Flèche rouge : relation inverse/ opposée

Flèche pointillé relation conditionnel (condition circulation/condition spatial/condition compatibilité)



Facteur lié à l'utilisation



Facteur lié à l'utilisateur



Facteur lié à la capacité de la route



Disparition du facteur humain



Voiture Partagée



Conséquence

3.5. CONCLUSION

Pour de nombreux auteurs, la question principale reste sans réponse : il ne semble pas possible de savoir si l'introduction de la voiture autonome aura un effet positif ou négatif sur le trafic, en raison, notamment d'un trop grand nombre d'inconnues et d'une marge d'incertitude trop importante pour chacun des éléments considérés séparément. (Litman, 2015)

Exemple pour Brown, la variation totale va d'une réduction de 90% de la consommation à une augmentation de 150%.

Litman considère que certains auteurs exagèrent les bénéfices (non prouvé) et en ignorent d'autres, notamment ceux concernant les modifications des habitudes de conduite.

De manière générale, on notera que pour chacun des points étudiés, il existe effectivement une marge d'incertitude importante.

Nous avons cependant mis en évidence l'importance de distinguer les effets aux niveaux temporels (différentes phases d'introduction de la VA niveaux 3, 4, 5) et spatiaux (distinction par type de voiries et suivant le caractère urbain ou non). Ces distinctions permettent de réduire l'incertitude sur les effets et rendent envisageables la création de scénarios (chapitre 5).

Afin que ces scénarios soient les plus réalistes possible (chapitre 5), nous avons vérifié que les différents impacts considérés étaient bien cumulatifs.

Nous retiendrons enfin, que la grande majorité des scénarios étudiés par les auteurs se base sur une série de conditions comme la généralisation du partage des véhicules, la transmission d'informations entre les véhicules et entre les véhicules et l'infrastructure, le co-voiturage, le choix d'un véhicule adapté, et d'autres. Il s'agit d'une projection sur le long terme de tendances actuellement en développement.

Si la démarche est parfaitement justifiable, il nous a semblé important de mettre ces conditions en évidence et d'étudier la probabilité que celles-ci se réalisent (chapitre 4).

On notera le paradoxe de la sécurité augmentée, c'est sans doute l'argument « suffisant » qui permettra à l'industrie de promouvoir la voiture autonome malgré les effets potentiellement négatifs pour les autres domaines (mobilité/environnement) (Steer et al., 2016).

4. DISCUSSION

4.1. INTRODUCTION

La voiture autonome en tant que « tendance » est loin d'être unique, il existe de nombreuses forces qui influencent la mobilité au quotidien (partage, co-voiturage) et la capacité de la VA à être une force motrice ne sera effective que lorsqu'elle représentera une fraction importante de la flotte en circulation. (Litman, 2015) (Steer et al., 2016).

L'analyse de la littérature montre que les bénéfices attendus de la voiture autonome sous-entendent une utilisation particulière de cette technologie, voire même une conception particulière des futurs véhicules autonomes.

Les différents auteurs tiennent généralement compte du développement d'une série d'autres tendances afin de mieux rendre compte de l'évolution globale de notre société et de rendre leur analyse aussi pertinente que possible. Il ne s'agit donc pas pour nous de remettre en cause la prise en compte de ces tendances, mais bien de les mettre en évidence et d'estimer la probabilité de leur réalisation. Nous avons en effet montré les variations importantes de l'impact sur la mobilité et sur l'environnement en fonction de la réalisation de **ces conditions**.

4.2. CONDITIONS

Tout au long du chapitre 3, que ce soit dans l'analyse des impacts sur la mobilité ou sur l'environnement, notre analyse de la littérature a mis en évidence **cinq conditions**. Ces points, suivant qu'ils se réalisent ou non, auront une influence majeure sur l'impact global de la voiture autonome tant d'un point de vue de la mobilité que de l'environnement. Ces cinq conditions sont les suivantes :

- La voiture autonome sera partagée
- La compatibilité entre voitures et infrastructure routière
- La voiture autonome induira le co-voiturage
- Voiture autonome à 100% (voir chapitre 2)
- 100% de voitures autonomes (voir chapitre 2)

4.2.1. PREMIÈRE CONDITION : LA VOITURE AUTONOME SERA PARTAGÉE.

A. EXPLICATION

Rappel des points nécessitant le partage des véhicules pour que le gain soit effectif :

- Gain d'espace
- Voyage à vide (réduit si véhicule partagé)
- Véhicule adapté
- Meilleur accès à la mobilité (cas particulier)

Pour ce dernier point, la généralisation du partage n'est pas nécessaire, cet effet s'appliquera donc d'office.

C'est l'une des conditions les plus présentes dans la littérature. Rares sont les auteurs qui réalisent des études sans prendre en compte au moins partiellement cet effet. Fagnant (2014) étudie les impacts d'une introduction de véhicules autonomes partagés portant sur 3.5% des trajets effectués.

B. CARACTÉRISATION

Il s'agit ici de caractériser les effets de la voiture partagée sur la mobilité.

B.1. Type d'utilisateur (voiture partagée)

Les études concernant les utilisateurs de la voiture partagée (à l'heure actuelle) montrent que 60% d'entre eux n'ont pas de voiture avant de s'inscrire au système d'auto-partage. Parmi les personnes possédant une voiture au moment de l'inscription, un nombre relativement important se sépare de sa voiture. (Martin et al., 2010) (Flamm, 2008)

Before Joining Carsharing	After Joining Carsharing						Total
	Zero-Car Household	One-Car Household	Two-Car Household	Three-Car Household	Four-Car Household	Five-or-more Car Household	
Zero-car household	3,686	182	14	3	0	0	3,885 (62%)
One-car household	1,250	646	21	0	0	0	1,917 (31%)
Two-car household	68	228	112	5	0	0	413 (7%)
Three-car household	7	11	8	19	1	0	46 (1%)
Four-car household	3	2	3	3	2	0	13 (0%)
Five-or-more-car household	2	1	0	0	1	3	7 (0%)
Total	5,016 (80%)	1,070 (17%)	158 (3%)	30 (0%)	4 (0%)	3 (0%)	6,281

Figure 13 Possession voiture. Source : Martin et al. 2010

B.2. Nombre de véhicules en circulation (projection voiture autonome)

Pour rappel, l'étude de Spieser (Spieser et al., 2014) montre qu'un tiers des véhicules actuellement en circulation suffirait à fournir le même service de mobilité, s'ils étaient autonomes (et partagés).

Fagnant et Kockelman 2014 : le partage réduit l'utilisation et divise, par un facteur variable entre 9 et 12, le nombre de véhicules nécessaires (attente de 5 minutes des utilisateurs qui vont à la même destination Transport en Commun(TC) (pour une ville de 15km sur 15km)).

Par contre, la production de voitures ne diminue pas (ou peu) vu le taux de rotation plus important des véhicules, ceux-ci polluent moins en raison d'une utilisation plus efficace (moteurs moins souvent froids et véhicules plus récents) (Fagnant et Kockelman, 2014). Chiffres similaires pour Homen (Homen et Van Arem, 2016).

Pour les voyages à vide (cas de la voiture autonome), ils sont limités en cas de partage de véhicules et en milieux denses (villes) et très importants dans le cas contraire.

B.3. VMT ou km parcourus par utilisateur

Pour Fagnant et Kockelman (2014), le système actuel de partage de véhicules (non autonomes) entraîne une diminution de 27% de l'utilisation de la voiture (en plus de la diminution du nombre de véhicules). La question est de savoir quel sera l'effet de l'amélioration du service (diminution du coût, facilité d'utilisation et possibilité de réaliser d'autres activités). Pour Cervero (Cervero, 2003), la diminution est de 47%. Pour Shaheen (Shaheen et al., 2009), la diminution est surtout très variable d'une personne à l'autre, allant de -7 à -79%, avec une moyenne à 44%. S'il est difficile voire impossible de modéliser des changements d'habitudes, on notera que la VA aura, en supprimant les contraintes d'utilisation des véhicules partagés, au minimum la possibilité d'annuler les bénéfices du système actuel de partage des véhicules.

C. CONTRE POINT

L'économie du partage a une existence propre, elle existe en dehors de la notion de voiture autonome. Il y a d'ailleurs de nombreux modèles de partage de véhicules entre particuliers avec le Français Drivy ou les Belges CarAmigo et Tapazz ou encore Wibee, et une série de services de partage de véhicules comme Cambio, Zen Car ou Ubeeo (où il faut revenir à son point de départ pour stopper la location) ainsi que de nouveaux acteurs qui privilégient le free floating avec des sociétés comme Zipcar ou Drive Now. Ces différents services sont complémentaires et fort récents en ce qui concerne le free floating.

De même, la voiture autonome peut parfaitement s'envisager dans le modèle dominant à l'heure actuelle : le modèle de la propriété privée.

On peut facilement démontrer que la voiture autonome n'apporte que très peu d'avantages du point de vue de l'utilisateur. En effet, les principales qualités d'un service de voiture partagée sont la disponibilité d'un véhicule adapté dans des délais courts ou à proximité. Que le service de partage soit autonome ou pas, si la voiture demandée est à Arlon dans le premier cas, elle est à deux heures de route de Bruxelles, dans l'autre cas, elle est inaccessible. L'élément clé est donc une densité de véhicules de location suffisante.

L'essentiel de l'avantage se situe au niveau du fournisseur de services, la voiture autonome réduit considérablement l'investissement de départ en faisant varier la quantité de voitures à mettre en service simultanément dans une zone déterminée.

Le facteur d'amélioration décisif en matière d'espace et de choix du véhicule adapté n'est donc pas l'autonomie de la voiture mais bien le modèle de propriété de celle-ci.

On peut aller encore plus loin. En effet, les difficultés à disposer du véhicule partagé instantanément ou en tout cas, la capacité de le faire venir jusque devant chez soi, sont réelles et ont été étudiées. Il en

résulte que les personnes ayant fait le choix de la mobilité partagée ont une utilisation plus raisonnée et moins fréquente de la voiture. On constate une diminution de l'utilisation de la voiture de 27% (Fagnant et Kockelman, 2014). Au contraire, la voiture autonome (niveau 5) partagée risque d'augmenter fortement l'utilisation de la voiture, réduisant l'un des bénéfices du partage de la voiture.

Ces améliorations vers plus d'autonomie seront autant d'arguments de vente mais n'impliquent pas un changement dans le modèle de propriété. Le probable positionnement comme produit de luxe (en raison des surcoûts importants) et la distribution par le secteur en place sont autant d'éléments qui vont à l'encontre du développement du modèle de voiture partagée. Pourtant, certaines marques de voitures soutiennent le développement d'initiatives de carsharing.

Pour analyser ce point, il faut comprendre l'effet de ces modèles de carsharing. L'étude du modèle Villo ! peut être un intéressant parallèle. L'un des principaux enseignements du modèle Villo ! c'est qu'il agit comme un tremplin vers l'achat d'un vélo personnel. En effet, comme l'ont mis en évidence Labrecque (2014) et Krag (2012), un des éléments qui permettent le « modal shift » est la possibilité d'essayer le vélo.

C'est d'ailleurs pour cette même raison que certaines marques de voitures, comme celles du groupe Daimler ou BMW, s'associent et participent à la mise en place de services de voitures partagées dans le but de promouvoir leur marque auprès des 25-35 ans. Si l'achat d'une voiture devient une nécessité, les utilisateurs pourraient choisir l'un des modèles préalablement « essayés ». En effet, la majorité des personnes qui achètent des voitures neuves ont entre 45 et 55ans alors que les systèmes de voitures partagées touchent des couches plus jeunes de la population. (Peeters, 2016) (Les partenariats actuels peuvent au mieux être considérés comme de nouvelles vitrines pour faire essayer les marques et expérimenter les modèles des constructeurs qui y participent). Actuellement l'intérêt des marques pour les systèmes partagé a pour objectif la promotion de leur marque (fidélisation).

D. SCÉNARIO

La question principale n'a pas encore trouvé de réponse. La voiture partagée va-t-elle s'imposer dans les prochaines années ? Pour répondre à cette question, nous proposons de comparer les prévisions de ventes de véhicules privés et les prévisions d'utilisation de la voiture partagée (taille de marché).

Pour Pierre-Franck Chevet (Chevet, 2009), 1,4 milliard d'automobiles seront en circulation à l'horizon 2030 au niveau mondial et 427.000 voitures partagées (2025) (pour 36.000.000 d'utilisateurs). Si nous prolongeons le taux de croissance de la voiture partagée (12%/an) jusqu'en 2030 pour avoir des dates comparables, on obtient 683.000 véhicules partagés pour 57 millions d'utilisateurs soit 0,05% des véhicules. Si l'on tient compte des utilisateurs, ils représentent un peu plus de 4% du total.

Il semble donc que, même si la voiture partagée est une tendance qui devrait se développer fortement, particulièrement en milieu urbain, elle restera un marché de niche. On envisage ici le cas d'un développement économique dans une économie de marché, il est évident que ce développement pourrait être plus important en cas de politique forte.

E. CONCLUSION

La voiture autonome n'est pas la voiture partagée, il s'agit de deux notions indépendantes. S'il est évident, que le partage des véhicules est une solution comportant de nombreux avantages (particulièrement pour sa capacité à libérer de l'espace en milieu urbain), que le modèle de la voiture partagée a connu un développement important et connaîtra encore un développement à deux chiffres dans les prochaines années, **les prévisions nous obligent à considérer cette tendance comme marginale.**

De plus, son développement se concentre sur les zones à forte densité d'utilisateurs, ce qui réduit la portée des bénéfices potentiels.

Enfin, **la VA supprime des avantages collectifs de la voiture partagée** (contrainte réduisant l'utilisation) au profit de bénéfices individuels (confort de l'utilisateur, réduction du coût entraînant une hausse de la l'utilisation). De plus et contrairement à une vision intuitive, la diminution nette du nombre de véhicules ne signifie pas forcément une diminution de la production de véhicules, en raison d'une utilisation et d'un taux de rotation plus important des véhicules.

Si l'autorité publique supprimait la possibilité de posséder un véhicule personnel au profit d'un système de partage, les bénéfices seraient certainement importants. Par contre, si on attend l'introduction de la VA pour partager nos véhicules, les bénéfices pourraient être nuls voire négatifs.

Dans le cas des scénarios du chapitre 5, en cas de partage des véhicules, une réduction de trafic de 30% sera appliquée en l'absence de VA4 et VA5.

4.2.2. DEUXIÈME CONDITION : LA COMPATIBILITÉ

A. EXPLICATION

Une partie des améliorations apportées par la voiture autonome sera indépendante de la communication entre véhicules, comme la capacité à éviter un obstacle. La gestion du trafic à grande échelle ou la création d'itinéraires de déviation impliquera par contre, la nécessité pour la VA, de communiquer (entre VA et avec un centre).

Rappel des points nécessitant la compatibilité des véhicules pour que le gain soit effectif :

- Augmentation des capacités du trafic
- Réduction des accidents
- Gestion du trafic
- Platooning

B. CARACTÉRISATION

Pour Tientrakool, (Tientrakool et al., 2011) en cas de communication entre les véhicules, la capacité théorique peut être multipliée par 3,7. L'amélioration de la capacité des autoroutes n'augmente par contre « que » de 43% si les véhicules avec détecteur (que l'on peut apparenter à la voiture autonome dans notre cas) ne communiquent pas. (Tientrakool et al., 2011) Pour van den berg et Verhoef (2009), l'amélioration apportée par la voiture autonome pourrait se limiter à 1% en cas de non coopération entre véhicules et monter jusqu'à un optimum de 414% en cas de coopération très poussée.

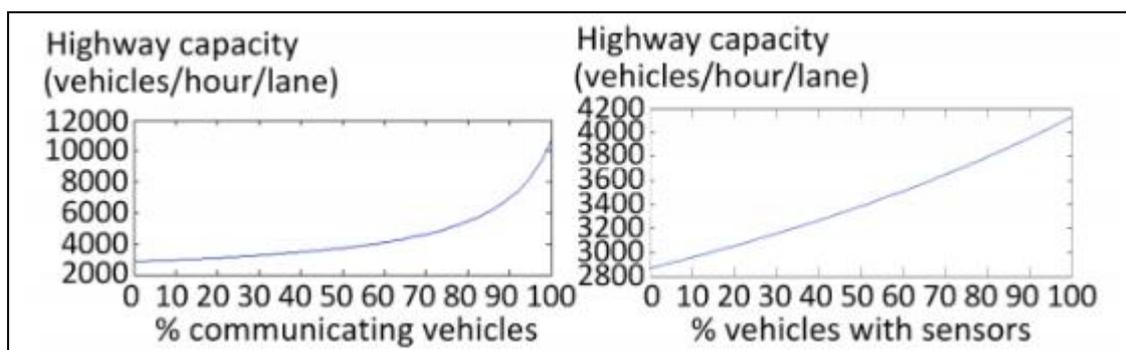


Figure 14 Amélioration de la capacité suivant le % de véhicule communicant/autonome Source : Tientrakool et al., 2011

On notera que si l'amélioration de la capacité en fonction du nombre de véhicules autonomes est relativement constante (graphique de droite), l'augmentation de la capacité en fonction de la possibilité des véhicules à communiquer entre eux n'augmente qu'à un haut pourcentage de véhicules connectés (graphique de gauche). On notera aussi que l'augmentation est plus importante dans le cas d'une communication entre véhicules.

C. CONTREPOINT

Pour Anderson (Anderson. et al. 2016), il existe plusieurs difficultés à résoudre. La première concerne les programmes et leur compatibilité : à l'heure actuelle, les différents développeurs de la voiture autonome travaillent sur des modèles de récoltes d'informations différents (caméra, radar, ...), les logiciels développés sont capables d'analyser ces données spécifiques. Quelles informations seront transmises, sous quel format ? Ce problème peut paraître anodin. Pour prendre conscience de son ampleur, il suffit de penser au problème de compatibilité que l'on peut rencontrer avec nos ordinateurs (programme Mac/Windows) ou entre deux versions de traitements de texte d'un même développeur. On comprend

l'importance des défis que représente la communication entre les futurs véhicules autonomes. (Anderson et al., 2016) (Fernandes, 2012)

On notera que le secteur du transport aérien a réussi à résoudre cette problématique tant au niveau de la compatibilité entre constructeur qu'au niveau des systèmes successifs. En particulier grâce au travail de l'ICAO (International Civil Aviation Organization) et du développement de norme ISO, spécifique.

Une autre limite à mettre en évidence concerne le milieu particulier que représente la ville. On y retrouvera toujours un nombre important de « véhicules » non communiquant, que ce soit les piétons, les cyclistes, et autres deux roues. Les politiques de mobilité bas carbone (Thomopoulos et Givoni, 2015) devraient accroître fortement leur nombre dans les années à venir.

D. CONCLUSION

La voiture autonome et la voiture compatible sont deux notions séparées. Les améliorations dues à la compatibilité seront en partie présentes avant l'arrivée des véhicules autonomes, l'inverse n'étant pas vrai : si les véhicules autonomes ne sont pas compatibles, les gains seront faibles. Si nous avons pu mettre en évidence l'importance de la communication entre les véhicules autonomes en matière de gain de capacité des routes.

On notera que pour être effectifs, les gains nécessiteront qu'une large part (70-80%) des véhicules communique.

La problématique de la communication entre les véhicules est déjà présente, il ne faudra donc pas attendre la mise en service des voitures autonomes pour voir des développements à ce sujet. On notera cependant que la voiture autonome pourra apporter des problèmes spécifiques.

Comme pour le secteur aérien, il faut envisager la création d'un organe international, afin de mettre en place la coopération suffisante à la définition de norme commune, ayant pour objectif d'assurer la compatibilité des véhicules entre systèmes de constructeurs différents et entre systèmes de générations différentes.

Nous réaliserons donc toutes nos simulations (chapitre 5) en mettant en évidence, l'effet de la communication entre véhicules.

On notera que l'essentiel des gains se concentre sur les voiries réservées à l'automobile (autoroutes).

4.2.3. TROISIÈME CONDITION : LA VOITURE AUTONOME INDIURA LE CO-VOITURAGE

A. EXPLICATION

Bien que plus marginalement présente dans la littérature, il nous semble important de traiter la problématique du co-voiturage. Le co-voiturage est une tendance parallèle à la voiture partagée qui semble en effet encore plus prometteuse, car il est moins impliquant, (on accueille des étrangers dans sa voiture mais on en garde le contrôle).

Certains auteurs comme Brown (Brown et al., 2013) ou Fagnant et Kockelman (2014), soulignent la possibilité de réaliser des gains importants en matière de mobilité en combinant véhicule partagé et co-voiturage. Si les gains potentiels semblent effectivement importants, il devient difficile de distinguer ce système de celui des transports en commun.

Un autre avantage réside dans le fait qu'une majorité des personnes réalisent les mêmes trajets, aux mêmes heures tous les jours et que le co-voiturage n'implique pas de choix définitif (se séparer d'une voiture).

B. CARACTÉRISATION

Un des chiffres marquants du concept de covoiturage est l'augmentation significative du taux d'occupation moyen. Il passe en effet de 1,7 à 2,8 par véhicule soit une augmentation de 64% et des taux de progression annuels pouvant atteindre les 3 chiffres. On notera que le co-voiturage a un effet direct sur le nombre de voitures en circulation et impacte donc réellement la mobilité. (BlaBlaCar, 2012)

C. CONTRE POINT

Ici, le facteur déterminant se situe au niveau des applications de mobilité disponibles sur Smartphone. Il s'agit de faciliter la mise en relation des différents intervenants. De nombreux modèles existent déjà et connaissent un certain succès, pour ne pas dire un succès certain.

La mise en œuvre peut se faire, dès aujourd'hui, de manière indépendante au développement de la voiture autonome.

D. CONCLUSION

Le co-voiturage a la capacité de réduire le trafic d'un facteur compris entre 30 et 50%. Elle n'est cependant pas liée au développement de la voiture autonome. Dans le chapitre 5, une réduction de 30% sera appliquée au scénario remplissant la condition de co-voiturage.

4.3. CONCLUSION

Parmi les 5 conditions mises en évidence, deux conditions ont retenu notre attention dès le chapitre 2. Il s'agissait d'étudier la temporalité de l'apparition de la technologie des voitures autonomes et celle de sa diffusion. Pour rappel, le niveau d'autonomie complète n'est pas attendu avant 2030, sa généralisation sur le marché de l'automobile devrait prendre au minimum une dizaine d'années : 2040, et encore dix ans pour représenter une majorité des véhicules en circulation : 2050.

Pour la condition du partage des véhicules, il ne semble pas que le développement actuel puisse représenter une alternative généralisée avant l'introduction de la voiture autonome. La condition est donc considérée comme non pertinente (les scénarios en tiendront compte mais nos analyses souligneront qu'il est peu probable que cette condition se réalise).

La condition de co-voiturage semble avoir un potentiel de développement plus important pour un impact réel et direct sur le trafic. Il est cependant difficile de déterminer de manière chiffrée son potentiel de développement. On notera toutefois que la combinaison d'un partage des véhicules et du co-voiturage porte un nom connu depuis de nombreuses années : les transports en commun.

En matière de compatibilité, une partie substantielle des gains en mobilité dépend de la capacité des différents constructeurs (développeurs) à rendre leurs véhicules compatibles sur la durée (entre concurrents et pour une même marque entre véhicules de générations différentes), la comparaison avec l'informatique est une illustration de la problématique.

Pour prendre conscience de l'importance de ces conditions, nous vous proposons dans le chapitre suivant une compilation de l'ensemble des données chiffrées à notre disposition suivant plusieurs scénarios.

Il s'agit de voir l'impact relatif de la voiture autonome dans le temps (différentes phases d'introduction) et dans l'espace.

5. SCENARIOS

L'objectif de ce cinquième chapitre est de mettre en relation l'ensemble des éléments étudiés séparément dans les chapitres 2, 3, 4. Nous allons déterminer 6 scénarios mobilité et deux scénarios environnement afin de voir comment les différents éléments mis en évidence se combinent.

Rappel, dans chaque point développé, nous avons généralement pu déterminer un ordre de grandeur de la variation étudiée. Ce chapitre va tenter d'agréger ces différents ordres de grandeur.

On notera qu'il faut prendre la plus grande précaution vis-à-vis des résultats qui seront obtenus. Il s'agit, en effet, d'une compilation de chiffres obtenus auprès de différents auteurs ayant travaillé selon des méthodologies différentes. De plus, pour être complet, certains chiffres ont dû être extrapolés. Pour le détail méthodologique de chacun des chiffres, veuillez-vous référer aux chapitres 2 et 3. Des tableaux synthétiques ont été mis en annexe.

5.1. SCÉNARIO MOBILITÉ

Pour les scénarios mobilité, nous travaillons sur deux ordres de grandeur principaux :

- La capacité de la route : le nombre de véhicules pouvant circuler sur une voie de circulation par heure. Nous partirons d'un chiffre de 1000 véhicules/heure et nous verrons l'évolution de la capacité pour les différents scénarios. Cette valeur a été choisie arbitrairement et est à considérer comme le serait une référence en base 100.
- La densité du trafic : soit le nombre de véhicules effectivement présents sur la route, si la densité du trafic dépasse la capacité de la route, il y a saturation (en réalité la saturation arrive bien plus tôt). L'objectif n'est pas une modélisation précise du trafic mais bien de déterminer l'effet global de la technologie étudiée. La densité du trafic sera fixée à 1000 véhicules/heure que nous ferons évoluer suivant les résultats obtenus tout au long de ce travail.

L'objectif est de mettre en évidence l'effet potentiel des voitures autonomes selon différentes temporalités, différents milieux, scénarios. On notera que pour mettre en évidence les effets de la VA, les scénarios sont « sans nuances », avec par exemple des niveaux de 100% de VA, niveau X en circulation. Ce qui en soit n'est pas réaliste mais qui permet de mettre en évidence l'effet de ce véhicule en « isolant » artificiellement.

Les scénarios sont une compilation des différents résultats obtenus dans les chapitres 3 et 4.

Pour rappel, les différents éléments marquants relevés tout au long de ce travail sont :

- Facteur temporel
 - o Vente de la première voiture autonome niveau 5 dans un délai de 10-20ans
 - o VA représentera 100% des ventes d'ici 20 à 40 ans
 - o VA représentera minimum 75% des voitures en circulation d'ici 30 à 60ans

Nous considérerons quatre éléments :

- o Le premier à 100% de véhicules non autonomes (témoin ou situation de référence)
- o Le second à 100% de véhicules autonomes de niveau 3 et 4 en circulation
- o Le troisième à 50% de véhicules autonomes de niveau 5 en circulation
- o Le quatrième à 100% de véhicules autonomes niveau 5 en circulation

On retrouvera cette distinction dans les 6 scénarios

- Facteur spatial :
 - o Analyse différenciée ville/autoroute

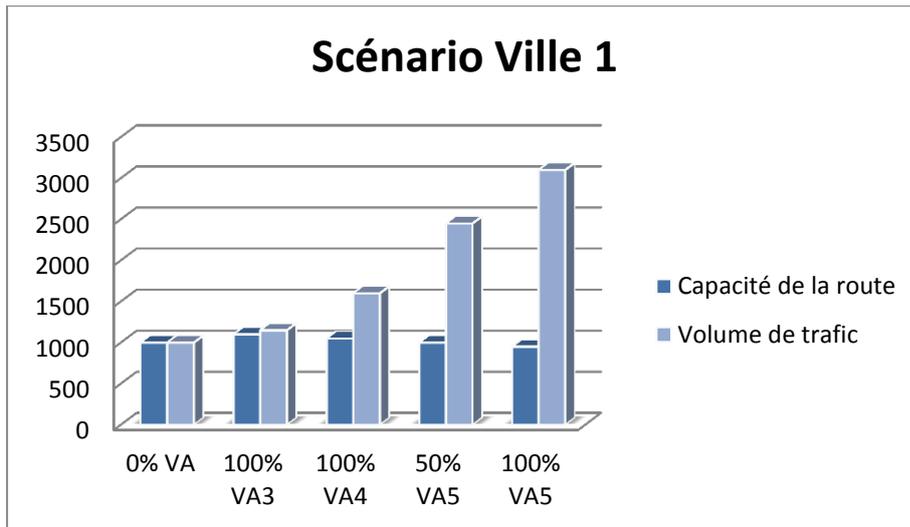
Nous avons dédié 3 scénarios à la ville et 3 scénarios aux autoroutes

- Facteur conditionnel :
 - o Partage des véhicules
 - o Compatibilité des véhicules
 - o Co-voiturage

Combinaison variable suivant les scénarios 1(aucune condition), 2 (compatible, non partagé et non covoituré) et 3 (toutes conditions remplies)

- Éléments étudiés :
 - o Capacité de la route
 - o Nombre d'accidents
 - o Gestion du trafic
 - o Suppression transfert modal
 - o Accès à la mobilité
 - o Effet sur les distances parcourues
 - o Voyage à vide

Compiler suivant l'analyse faite dans le chapitre 3, les tableaux chiffrés se trouvent en annexe.

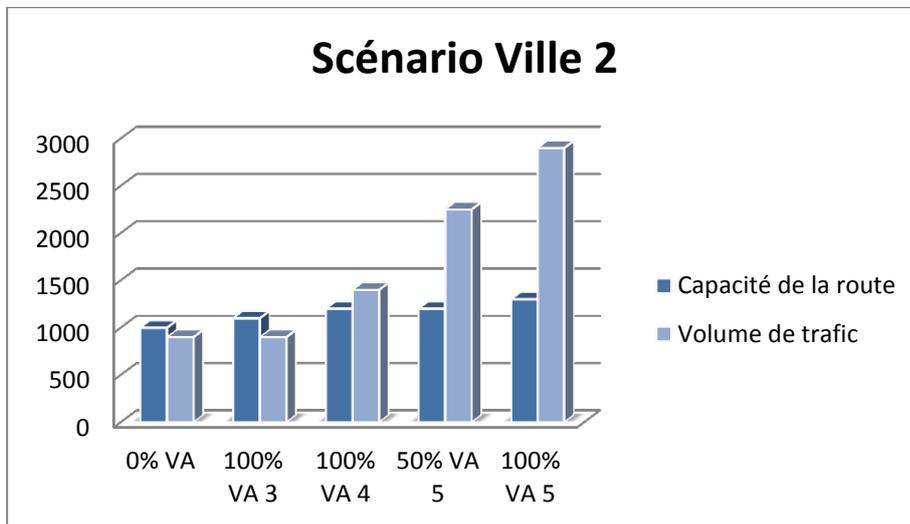


Impact de l'introduction progressive de la voiture autonome, non compatible, non partagée, ni covoiturée.

On constate une diminution relativement faible de la capacité des voiries combinée à une augmentation importante de la demande de mobilité.

Tableau chiffré en annexe

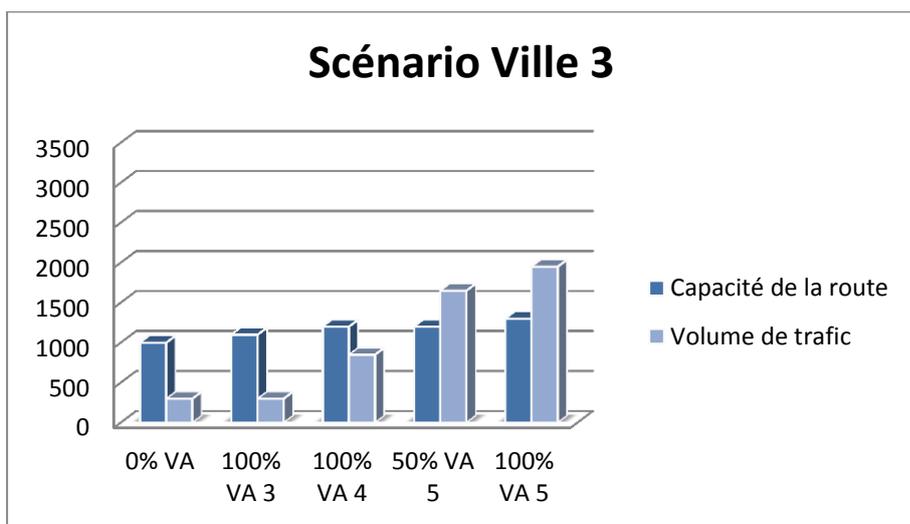
Figure 15 Scénario Ville Aucune condition. Source : Nieuwland 2017



Impact de l'introduction progressive de la voiture autonome compatible, non partagée, ni covoiturée.

On constate une augmentation de la capacité des voiries combinée à une augmentation importante de la demande de mobilité.

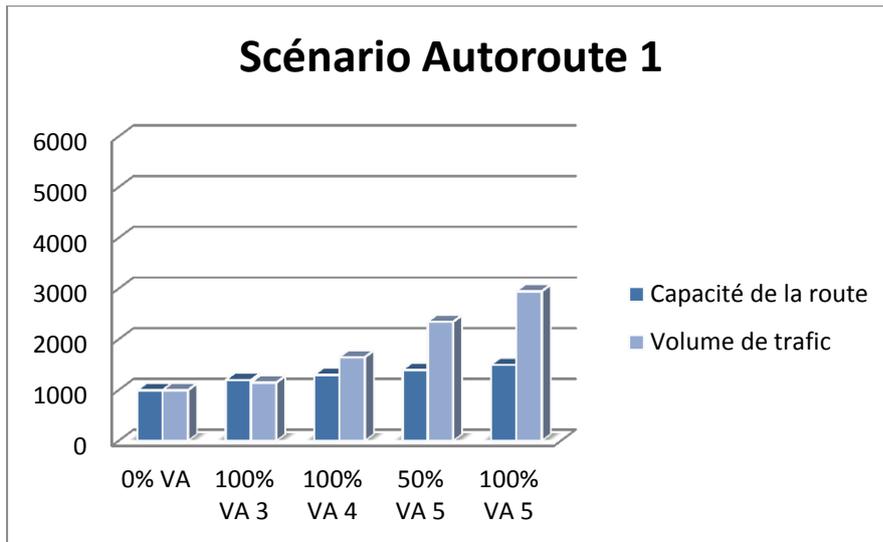
Figure 16 Scénario Ville Condition compatibilité remplie. Source : Nieuwland 2017



Impact de l'introduction progressive de la voiture autonome, compatible, partagée et covoiturée.

On constate une diminution relativement importante du trafic combinée à la même légère augmentation des capacités que précédemment. Dès la VA4, les effets du partage disparaissent et le trafic augmente.

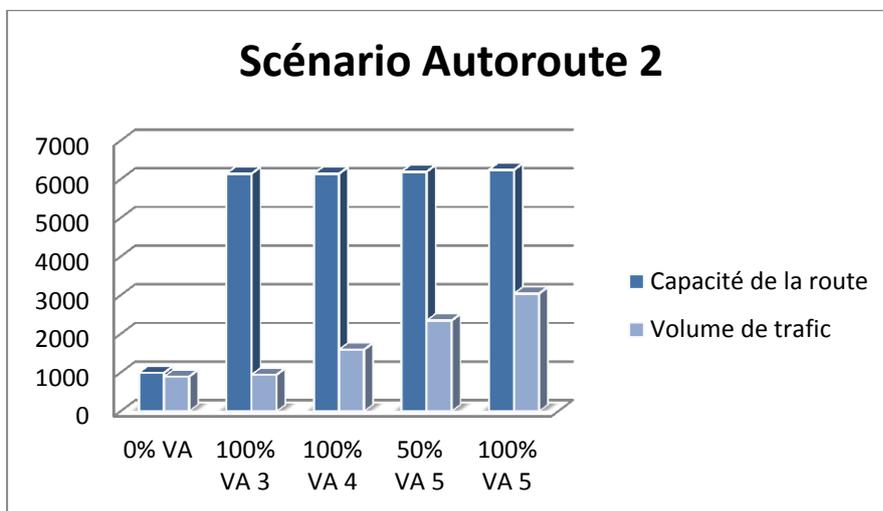
Figure 17 Scénario Ville Compatible et co-voiturage. Source : Nieuwland 2017



Impact de l'introduction progressive de la voiture autonome, non compatible, non partagée, ni covoiturée.

On constate une augmentation relativement faible de la capacité des voiries combinée à une augmentation importante de la demande de mobilité.

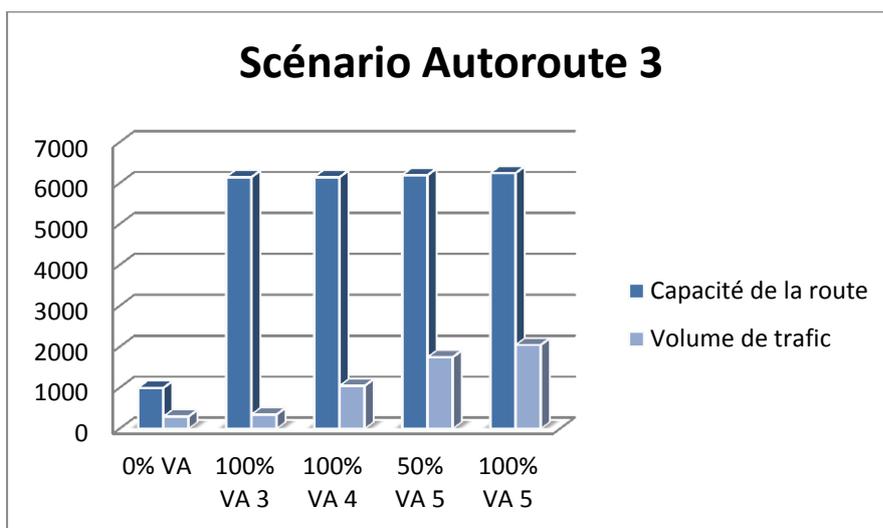
Figure 18 Scénario Autoroute Aucune condition. Source : Nieuwland 2017



Impact de l'introduction progressive de la voiture autonome, compatible, non partagée, ni covoiturée.

On constate une augmentation rapide et forte de la capacité des autoroutes, avec une progression importante du trafic.

Figure 19 Scénario Autoroute Condition compatibilité remplie. Source : Nieuwland 2017



Impact de l'introduction progressive de la voiture autonome, compatible, partagée et covoiturée.

On constate une augmentation rapide et forte de la capacité des autoroutes, avec une progression importante du trafic. Dans des proportions plus faibles que dans le scénario autoroute 2.

Figure 20 Scénario Autoroute Compatible et covoiturage 100%. Source : Nieuwland 2017

5.1.1. ANALYSE DÉTAILLÉE DES SCÉNARIOS VILLE

A. VILLE 1

Dans le scénario Ville 1, on constate que l'effet de la voiture autonome se porte principalement sur la création de trafic. On précisera que si le volume de trafic dépasse la capacité de la route, il y a saturation du réseau routier.

Dans de nombreux scénarios, le volume dépasse la capacité, ce qui n'est possible que théoriquement, ce qui met en évidence le trop plein de trafic potentiel.

En réalité, un tel scénario a peu de chance d'exister, il permet cependant de dégager une tendance, en poussant à fond la logique du déploiement de la voiture autonome, non connectée, non partagée, non covoiturée.

En ville, les feux de signalisation resteront nécessaires pour réguler le trafic piéton, cycliste et autres utilisateurs non « autonomes ». Les obstacles à l'augmentation des capacités du réseau seront donc importants. Par contre, il n'y a aucune limite au déploiement d'une utilisation intensive des services de la voiture autonome, par l'augmentation des utilisateurs, des voyages à vide des véhicules privé, etc...

B. VILLE 2

Le scénario Ville 2 propose un monde où les voitures autonomes seront connectées mais où le partage et le covoiturage resteront marginaux (nul). On rappellera que les prévisions concernant le développement du covoiturage et de la voiture partagée font état de niveau faible pour l'horizon 2030. Il s'agit donc d'un des scénarios les plus crédibles (en gardant en tête les limites méthodologiques de l'exercice).

On constate ici aussi, que l'augmentation du trafic est supérieure à l'augmentation des capacités de la route pour les niveaux d'autonomie 4 et 5.

Le niveau 3 d'autonomie est la surprise de ce scénario, il permet déjà de profiter des améliorations de la compatibilité des véhicules sans produire d'effet de type « création » de trafic en raison de son autonomie limitée. Le facteur déterminant étant la gestion du trafic, si toutes les voitures communiquent leur destination et leur itinéraire, il est possible de « piloter » le réseau en utilisant au mieux celui-ci et en fournissant à chacun des propositions personnalisées d'heure de départ.

C. VILLE 3

Le scénario Ville 3 a, lui aussi, peu de chance de voir le jour. Il permet cependant de visualiser l'impact majeur du covoiturage et du partage des véhicules.

On rappellera que l'effet du covoiturage s'applique à tous les niveaux d'autonomie, au contraire du partage dont les effets sur l'utilisation (en raison des contraintes) disparaissent avec l'apparition de la voiture autonome niveau 4 et 5.

L'intérêt de ce scénario est double, il met en évidence deux pistes d'amélioration de la mobilité et montre la capacité de la voiture autonome à supprimer ces bénéfices.

Les trois scénarios Ville montrent les limites de la voiture autonome en ville et par là, la nécessiter de préparer un cadre réglementaire pour profiter des avantages de la voiture autonome et d'en limiter les inconvénients.

5.1.2. ANALYSE DÉTAILLÉE DES SCÉNARIOS AUTOROUTE

A. AUTOROUTE 1

Le scénario autoroute 1, nous permet d'analyser l'effet de la voiture autonome, non partagée, non covoiturée et non compatible.

On constate que les différents niveaux d'autonomie augmentent progressivement le trafic et la capacité.

Le trafic augmentant plus rapidement et plus fortement que la capacité, nous arrivons à une situation de saturation du réseau autoroutier.

B. AUTOROUTE 2

Le scénario autoroute 2 considère les voitures autonomes compatibles (capables de communiquer entre elles). Il met en lumière la capacité des véhicules autonomes à augmenter de manière spectaculaire la capacité de certaines routes.

On rappellera que pour obtenir de tels gains, il faudra interdire les véhicules non-autonomes sur les autoroutes et que ces gains seront limités aux seules autoroutes. Enfin, les gains obtenus durant le trajet ne règlent pas le problème de la destination (la ville). Le goulot que représente la ville limite donc la réalisation des gains potentiels.

A moins d'imaginer le développement de parking aux entrées des villes, les transports en commun dégaqués de la circulation (par interdiction) achemineront efficacement les passagers depuis et jusqu'à ces parkings d'où ils continueront leurs trajets en voiture autonome.

C. AUTOROUTE 3

Les enseignements du scénario autoroute 3 sont similaires au scénario Ville 3, les systèmes de covoiturage et de partage des véhicules réduisent considérablement le trafic. Au point que les infrastructures actuelles apparaîtront comme surdimensionnées.

Globalement les différents scénarios autoroute indiquent que la technologie pourrait améliorer considérablement la capacité de ces différents milieux réservés à la circulation automobile. L'intérêt de cette information est grand dans la planification des investissements d'infrastructure.

On pense dans notre cas aux travaux d'élargissement de certaines autoroutes ou des Ring de Bruxelles et d'Anvers.

5.2. SCÉNARIO ENVIRONNEMENT

Le scénario environnement a été construit en utilisant pour chaque paramètre de mobilité (trafic) et de consommation, la valeur estimée la plus probable (en annexe). Contrairement aux scénarios mobilité qui avaient pour objectif de mettre en évidence les effets de la voiture autonome en créant des scénarios sans nuances, l'objectif est, ici, d'approcher d'une situation « possible » ou « réaliste », dans le sens où elle pourrait survenir.

On notera que les scénarios environnement, ne tiennent compte que de la phase d'utilisation des véhicules.

Dans le premier scénario environnement, on passe de 50%VNA et 50%VA3 en 2030 (dont 4% de voitures partagées) à 100%VA3 en 2050 (avec 20% de voitures partagées) (tableau détaillé en annexe). La voiture autonome de niveau 5 n'apparaît donc pas.

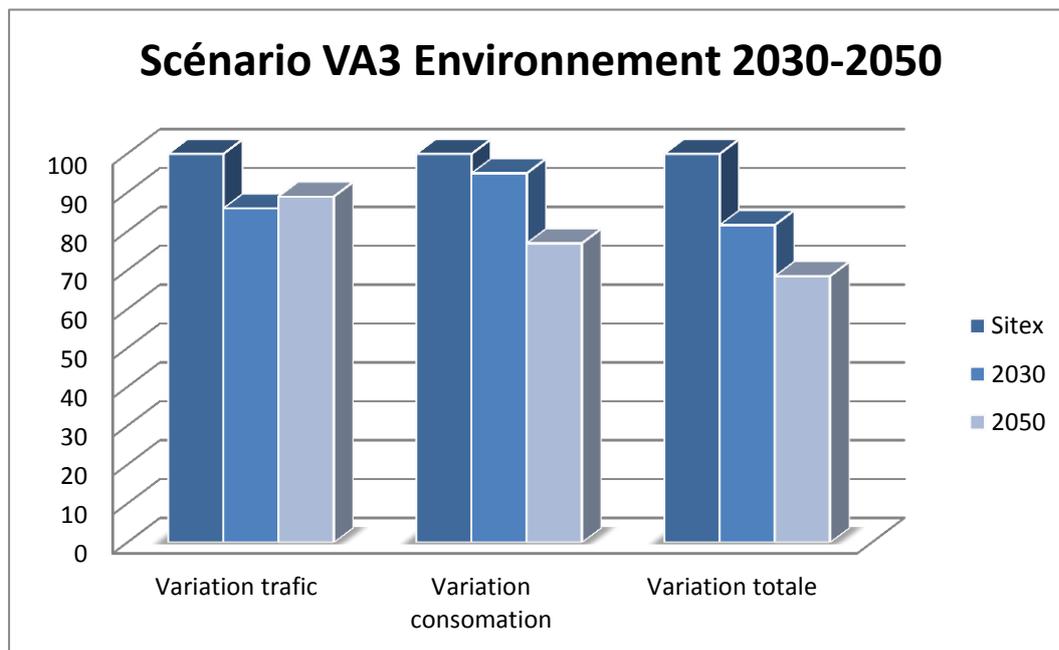


Figure 21 : Scénario Environnement 2030 – 2050 sans VA. Source : Nieuwland 2017

On peut observer que la VA3 et particulièrement l'augmentation du partage des véhicules entraîne une diminution globale des impacts sur l'environnement.

Dans le second scénario environnement, la voiture autonome de niveau 5 est effectivement apparue vers décembre 2030. Quelques mois avant son lancement (2030), on comptait 50% de VA3 et 50% de véhicules non autonomes (VNA). 4 % des véhicules étaient partagés (2% VA3 et 2%VNA).

Pour 2050, 50% des véhicules étaient des VA5 et 50% des VA3, de plus, 20% des véhicules étaient partagés (10%VA5 et 10% VA3)

Pour calculer l'impact sur l'environnement (variation totale), nous avons donc multiplié les effets sur le trafic (nombre de véhicules x distances moyennes parcourues) par les effets sur la consommation et l'impact du type de carburant a été considéré comme inchangé.

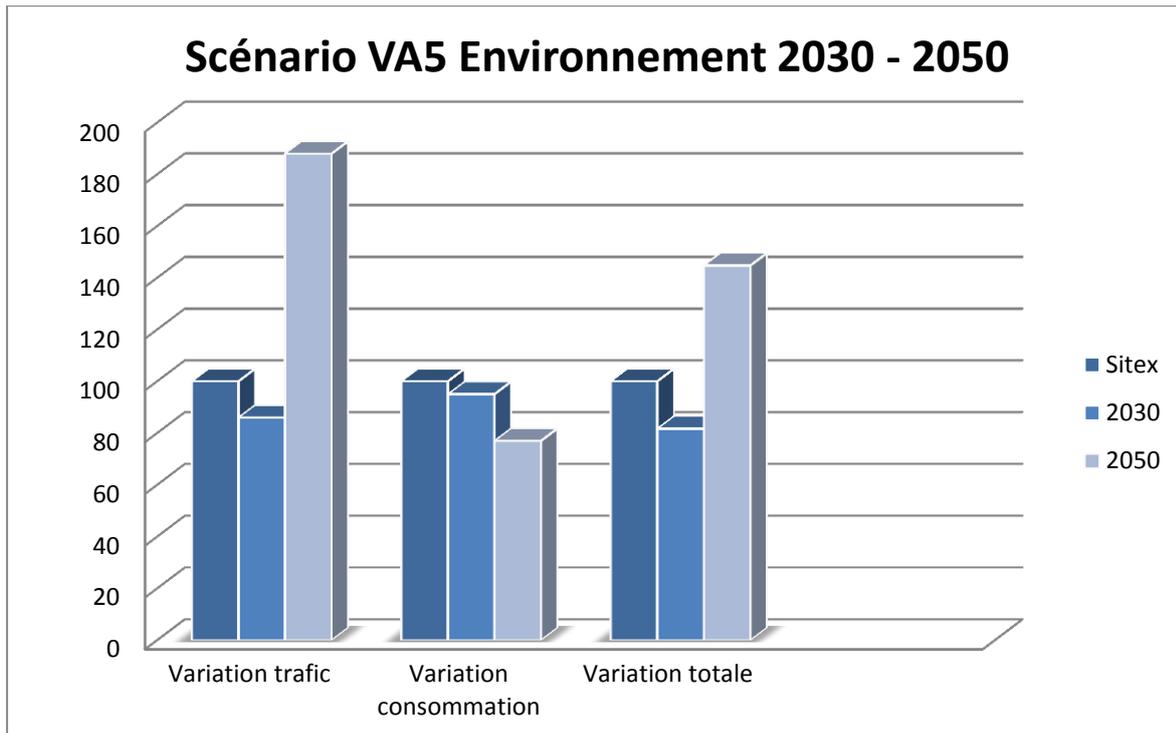


Figure 22 : Scénario Environnement 2030 – 2050 avec VA. Source : Nieuwland 2017

La sitex est la situation actuelle en base 100. On constate qu'en 2030, la situation s'améliore légèrement (dans tous les domaines) par contre en 2050, l'effet sur le trafic est très important au point que les gains en matière de consommation sont largement annulés et que la variation totale augmente.

5.3. CONCLUSION

On peut constater que, **dans l'ensemble des scénarios étudiés, l'apparition de la voiture autonome niveau 5 entraîne une hausse considérable de l'utilisation de la voiture.** Les différents bénéfices potentiels de la voiture autonome sont importants pour les voiries spécifiques à la voiture (autoroutes) et permettent d'absorber cette augmentation de trafic. En ville, les effets négatifs de l'introduction de la voiture autonome sont largement supérieurs aux bénéfices et ce même dans le scénario le plus favorable d'un co-voiturage généralisé.

Pour l'environnement, si la voiture autonome permet, sous certaines conditions, d'améliorer les performances des véhicules, la variation du volume de trafic annule largement ces bénéfices.

Les conclusions sont donc sans appel, aussi performante que soit la technologie, elle ne porte pas en elle la capacité de réguler les comportements.

Pour nous, il n'existe donc pas de solution technique à la mobilité, la seule solution à la mobilité est politique. En ce sens, les conclusions de ce travail rejoignent celles de plusieurs auteurs qui formulent certaines recommandations politiques.

S'il est déjà difficile de sortir les gens de leur voiture, il sera sans doute encore plus difficile de les sortir de leur voiture autonome (Thomopoulos et Givoni, 2015). Il y a donc lieu d'anticiper l'arrivée de la VA.

Il faudra continuer à décider si nous préférons investir dans la défense de l'environnement ou dans l'économie. Les villes seront-elles pensées pour y vivre ou pour se déplacer en voiture ? Tout est donc une question politique, en particulier une question de politique de mobilité et d'urbanisme (Thomopoulos et Givoni, 2015). Il ajoute enfin qu'il faut au plus tôt définir l'utilisation que nous voulons faire des futures VA (transport public ?) afin d'en orienter le développement. Les conséquences effectives de la VA seront essentiellement le résultat des politiques qui seront ou non mises en place (Thomopoulos et Givoni, 2015).

Selon Litman, il est important de ne réaliser les adaptations telles que l'aménagement du territoire, l'infrastructure et la planification, qu'une fois les bénéfices de ces modifications démontrés (Litman, 2015)

L'objectif de la régulation étant de réduire les incertitudes et de permettre un développement harmonieux et en accord avec notre projet de société. Il y a lieu de donner une direction aux firmes qui développent actuellement la VA. Les développeurs sont d'ailleurs demandeurs de connaître ces réglementations au plus vite, dans la mesure où elles conditionnent la rentabilité de leur investissement.

6. CONCLUSION.

L'objectif de ce mémoire était d'analyser le discours présentant la voiture autonome comme une solution aux problèmes de mobilité, sécurité, congestion et d'environnement. La voiture autonome en tant que technologie, ne peut pas être qualifiée de « bonne » ou « mauvaise », il a cependant été possible de mettre en évidence certains risques liés à son apparition et à son utilisation et de déconstruire une partie du discours la présentant comme une solution miracle.

Nous avons mis en évidence les temps longs de l'apparition de la future voiture autonome. Avec un développement d'une voiture autonome sans poste de conduite prévu pour 2030, une possibilité de représenter 100% des ventes dans la décennie suivante et un haut pourcentage (75%) du parc automobile au plus tôt vers 2050. Ces temps longs disqualifient la voiture autonome comme solution de mobilité à court et moyen terme.

Sur les temps longs, le développement de la voiture autonome dépendra de la capacité des développeurs, à garder le conducteur attentif et disponible pour reprendre le contrôle du véhicule, jusqu'à ce que les véhicules autonomes puissent faire face à 100% des situations. Cette phase de transition, entre des véhicules non autonomes et des véhicules 100% autonomes, sera déterminante pour le développement de la voiture autonome. Les conséquences sur l'image et la viabilité, de la technologie des véhicules autonomes, d'un manque de fiabilité (accidents, incidents) seront d'autant plus importantes qu'il apparait que l'amélioration de la sécurité routière sera un argument utilisé par les développeurs/constructeurs pour faire accepter leur technologie auprès des politiques et du grand public.

L'importance de l'analyse spatiale des impacts en matière de capacité de la route a pu être démontrée avec une variation des bénéfices suivant le type de milieu étudié (ville/autoroute). Les autoroutes représentent un milieu idéal pour la voiture autonome, alors que la ville concentre les difficultés techniques comme la présence des feux de circulation, des piétons, des cyclistes qui resteront par essence non autonomes et à priori non connectés.

En fluidifiant les autoroutes sans arriver à augmenter significativement les capacités de la ville à absorber le trafic, la voiture autonome pourrait participer à augmenter l'engorgement des villes et/ou à l'étalement urbain en multipliant les centralités.

A moins d'imaginer le développement de parkings aux entrées des villes, les transports en commun dégagés de la circulation (par interdiction) achemineraient alors efficacement les passagers depuis et jusqu'à ces parkings d'où ils continueraient leur trajet en voiture autonome.

Pour le milieu particulier des voiries réservées à la circulation automobile, l'augmentation des capacités doit être pris en compte dans la planification des investissements en matière d'infrastructure. On pense dans le cas de la Belgique aux travaux d'élargissement de certaines autoroutes ou des rings de Bruxelles et d'Anvers.

En matière d'utilisation : nous avons pu mettre en évidence que le temps de conduite ne s'apparentera plus à du « temps perdu » mais à du temps de loisir, détente, sommeil (...) ce qui engendrera une augmentation importante : du nombre de km parcourus, des temps de parcours et une diminution de l'efficacité globale des informations routières (gestion du trafic). Les utilisateurs de la voiture autonome ne tiendront plus compte des « heures de pointe » et ne différeront plus leur départ en fonction de la saturation du réseau.

En matière d'utilisateurs : l'autonomie de la voiture supprime la nécessité de posséder un permis de conduire et en cas de partage, elle supprime la nécessité de posséder sa propre voiture ce qui augmente considérablement le nombre d'utilisateurs. On notera aussi que la majorité des politiques de mobilité actuelle cherchent à faire sortir les conducteurs de leur voiture pour qu'ils prennent leur vélo ou les

transports en commun. « If it is hard to get people out of their cars it can be expected to be harder to get people out of their autonomous cars ...” (Thomopoulos et Givoni, 2015)

En matière de partage des véhicules : la voiture autonome est un concept indépendant de la voiture partagée.

Notre analyse juge peu crédible la généralisation de la voiture partagée (non autonome) à l'horizon 2030. Les prévisions « au fil de l'eau », soit : « sans incitant supplémentaire » de la part du politique, n'envisagent la voiture partagée que comme un marché de niche. **Les prévisions nous obligent à considérer cette tendance comme marginale.**

A partir de 2030, si la voiture autonome devait participer à l'essor et la généralisation des systèmes de partage de la voiture, trois limites importantes ont été mises en évidence :

- Dans les systèmes de partage des véhicules, on constate une diminution de l'utilisation de la voiture en raison des contraintes inhérentes au système de partage, la voiture autonome annule cet avantage collectif au profit des utilisateurs en supprimant les contraintes du système.
- La seconde relève d'une analyse spatiale ville/campagne. La ville concentre les utilisateurs et les destinations, la rentabilité d'un système de partage y est donc forte, au contraire, la faible densité des campagnes limite la rentabilité du système par une augmentation très importante des voyages à vide et la nécessité d'avoir une flotte de véhicules plus importante pour répondre aux besoins dans des délais satisfaisants.
- Enfin, les gains d'espace obtenus par suppression d'une partie du besoin en parking ainsi que les gains de consommation engendrés par l'utilisation de véhicules adaptés aux besoins sont attribuables au système de partage des véhicules (modèle de propriété) et non à l'autonomie du véhicule. L'autonomie permettant essentiellement de diminuer la densité de véhicules à mettre à disposition, dans une zone déterminée, par l'opérateur.

Le partage des véhicules est donc un système à encourager sans attendre l'arrivée de la voiture autonome, car, globalement, **la VA supprime des avantages collectifs de la voiture partagée, on peut considérer comme abusive l'association des bénéfices de la voiture partagée à la voiture autonome.**

Co-voiturage : bien que les auteurs associant co-voiturage et voiture autonome soient moins nombreux, on notera qu'aucun lien de causalité n'a pu être établi entre ces deux technologies. Le co-voiturage est grandement facilité, depuis quelques années, grâce aux sites internet et aux applications mobiles permettant la centralisation de l'offre et de la demande.

La probabilité d'une généralisation du covoiturage, à l'horizon 2030 est faible mais plus importante que la généralisation du partage des véhicules. Ici aussi, le bénéfice sociétal est important et la contrainte (plus faible) se situe au niveau de l'utilisateur. On notera que seul le co-voiturage permet de diminuer le nombre de voitures simultanément sur la route. Comme le partage des véhicules, des politiques en faveur du développement du co-voiturage devraient être mises en place.

La voiture connectée (compatible) est un concept indépendant de celui de la voiture autonome, une partie des gains étudiés ne sont pas liés à la voiture autonome. Par contre, nous avons vu qu'une grande partie de l'augmentation des capacités routières dépend de la capacité des VA à communiquer entre elles.

Les difficultés pour rendre compatibles des véhicules d'origine (constructeur/développeur) et de générations différentes sont importantes. Cette communication devra être assurée entre des modèles de constructeurs différents utilisant des technologies et des standards différents. De plus cette compatibilité devra être maintenue durant toute la durée de vie du véhicule. Il semble indispensable de mettre en place au niveau mondial une instance chargée d'assurer la mise en œuvre technique, politique et juridique de cette compatibilité.

Au niveau environnemental : des gains potentiels au niveau de la consommation des véhicules risquent d'être annulés par une augmentation de leur utilisation et une augmentation du nombre d'utilisateurs.

Pour l'auteur, l'arrivée de la voiture autonome semble inéluctable. Il appartiendra au politique de mettre en place une régulation (financière et/ou réglementaire) permettant de limiter les conséquences négatives et d'accroître les bénéfices de l'apparition de la voiture autonome. Car, la technologie des véhicules autonomes ne semble pas porter en elle une capacité régulatrice de la mobilité. Et si les estimations réalisées dans ce mémoire devaient se révéler fausses, l'effet d'appel créé par une amélioration importante de la fluidité de nos routes augmenterait rapidement l'utilisation de la voiture annulant en quelques années les éventuels bénéfices engendrés par la voiture autonome.

Pour paraphraser Amartya Sen: "There is no such thing as an apolitical mobility problem."³

L'urgence environnementale, économique et sociale demande des réponses rapides pour contraindre les utilisateurs à repenser leur consommation de mobilité, en particulier la propriété privée de véhicules et l'autosolisme.

« Il s'agit donc d'affirmer qu'il n'est pas possible d'offrir à chacun, l'opportunité de se déplacer partout, tout le temps et à prix plancher. »⁴ Stef Proost cité par Peeters (Peeters, 2016).

Et que, dans le cas de la mobilité individuelle et du « droit à la mobilité » ce qui est techniquement faisable, financièrement abordable et historiquement acceptable n'est parfois plus envisageable. La mobilité, est l'un des derniers domaines où chacun dispose d'une grande liberté, en comparaison avec l'urbanisme ou l'aménagement du territoire qui définissent jusqu'aux couleurs des briques et des tuiles de nos maisons. Avec pour objectif explicite de réguler l'utilisation d'une ressource limitée, le territoire afin qu'il profite à tous.

Concernant les limites de ce mémoire, on rappellera utilement que la technologie des voitures autonomes est encore en phase de développement, les analyses du présent document se basent sur la littérature existante, elle-même basée sur des analyses prospectives, ou sur des modèles mathématiques. S'agissant de matériel humain/social, ce type d'analyse comporte des limites évidentes qui doivent inviter à la prudence et à l'expérimentation afin d'en confirmer/infirmen la pertinence. On notera que pour répondre à la question de départ, nous avons utilisé une approche généraliste afin de brosser un tableau large des impacts potentiels, au détriment de l'approfondissement d'une problématique particulière.

En ouverture de ce mémoire, on notera que l'introduction des véhicules autonomes n'aura pas uniquement des impacts en matière de mobilité et d'environnement. L'impact social, avec la modification des services publics liés à la mobilité et en particulier l'impact en matière d'emplois seront certainement importants.

Il y a aussi les implications morales de la programmation des voitures autonomes : en cas de risque de collision, quels critères permettront de choisir qui « sauver » ? Le conducteur, propriétaire ou l'autre véhicule parce qu'il transporte des enfants ? Voir Sandberg Anders (Anders et Bradshaw martin, 2015).

Enfin, les questions d'assurance et de responsabilité n'ont pas été abordées, elles représentent l'une des grandes questions du moment et devront trouver une réponse convaincante le plus rapidement possible.

³ AMARTYA, Sen. 1981. Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation, Oxford: Clarendon Press. 272p

⁴ PEETERS, Anne. 2016. Plus de ligne blanche, moins de files. In Le vif, l'express : spécial mobilité. 4ème cahier-n°1 janvier 2016, pp. 9-12

7. SOURCES CONSULTÉES

7.1. BIBLIOGRAPHIE

A. DOCUMENTS ÉCRITS

AMARTYA, Sen. 1981. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlement and Deprivation*, Oxford: Clarendon Press. 272p

ANDERS, Sandberg. Heather, BRADSHAW-MARTIN. 2015. « La voiture autonome et ses implications morales », *Multitudes* 2015/1 (n° 58), pp. 62-68

ANDERSON, James. Nidhi, KARLA. Karlyn, STANLEY. Paul, SORENSEN. Constantine, SAMARAS. Oluwatobi, OLUWATOLA. 2016. *Autonomous Vehicle Technology, A Guide for Policymakers*. RAND Institute for Civil Justice (*Research And Development*). 214p

ASCONCHILO, Nadine. Laurence, BOYON. Charlotte, COUPE. Michaël, DEJODE. Xavier, DELACHE. Tu-Uyen, DINH. Annette, GOGNEAU. Gwenaëlle, JOURDREN. Nina, PIERQUET. Franck, RASSON. Marc, SOLINHAC. Florine, WONG. 2015. *Véhicule à délégation de conduite et politiques de transports: Synthèse bibliographique*. Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer, Service de l'administration générale et de la stratégie, Sous-direction des études et de la prospective. France. 199p

BARTH, Matthew. Kanok, BORIBOONSOMSIN. Guoyuan, WU. 2014. *Vehicle Automation and Its Potential Impacts on Energy and Emissions*. In *Road Vehicle Automation, Lecture Notes in Mobility*, pp. 103-112

BASTIAN, Anne. Maria, BORJESSON. Jonas, ELIASSON. 2016. *Explaining "peak car" with economic variables*. Department for Transport Science, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. Sweden. 15p

BELDAM (BELgium Daily Mobility). 2010. *Nouvelle enquête sur la mobilité quotidienne des Belges*. Pour BELSPO (SPP Politique scientifique). 352p

BELLOCHE, Sylvain. Charlotte, PIERREFEU. Dominique, GUICHON. 2013. *Rapport d'étude : Information routière avant voyage Impacts sur les choix des usagers Éléments de connaissance*. pour SETRA (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements). France. 68p

BERRY, Irene Michelle. 2010. *The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles* (thesis for Master of Science in Mechanical Engineering and Master of Science in Technology and Policy at the Massachusetts Institute of Technology). 140p

BIERSTEDT, Jane. Aaron, GOOZE. Chris, GRAY. Josh, PETERMAN. Leon, RAYKIN. Jerry, WALTERS. 2014. *Effects of next-generation vehicles on travel demand and highway capacity*. pour Fehr and peers (Transportation Solutions that Improve Communities). 31p

BIGLIA, Alexia. 2015. « Analyse prospective sur l'implémentation de la voiture autonome: impact sur l'industrie automobile et le citoyen. » Louvain School of Management, Université catholique de Louvain. Belgique. 87p

BROWN, Austin. Jeffrey, GONDER. Brittany, REPAC. 2014. *An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicle*. In *Road Vehicle Automation, Lecture Notes in Mobility*, pp. 137-153

BRUNEL, Hervé. 2007. *Cours de route*. Université d'Orléans, IUT de Bourges, département génie civil. 98p

Bureau statistique police cantonal Vaudoise (BSPCV). 2009. *Statistique accidents 2009*. 48p

BURNS, Lawrence. William, JORDAN. Bonnie, SCARBOROUGH. 2013. *Transforming personal mobility*. the earth institute. Columbia. 43p

CAMPEO, Vincent. Olivier, WILLOCX. Jan, De BRABANTER. Xavier, DEHAN. Frans, De KEYSER. Laura REBREANU. Cindy, TORINO. BECI. 2014. *Le livre blanc de la mobilité. 50 idées pour faire bouger Bruxelles*. Publication du centre de connaissances de BECI (Bruxelles Entreprise, Commerce et Industrie). 50p

- CERVERO, Robert. Yuhsin, Tsai. 2003. San Francisco City CarShare: Second-Year Travel Demand and Car Ownership Impacts. pour Transport Research Board. 28p
- CHEVET, Pierre-Frank. 2009. L'automobile à l'horizon 2030. Annales des Mines - Réalités industrielles 2009/3 (Août 2009), pp. 5-7
- DEBOOSERE, P. T, EGGERICKX. E, VAN HECKE. B, WAYENS. "États généraux de Bruxelles. La population bruxelloise : un éclairage démographique", Brussels Studies, Note de sytnhèse n°3, 12 janvier 2009 (corr. 17 mars 2009). 18p
- DAVIDSON, Peter. Anabelle, SPINOULAS. 2015. Autonomous vehicules what could this mean for future of transport? In Modelling Autonomous Vehicles. Pour Peter Davidson Consulting. 15p
- DEHAIBE, Xavier. Jean-Pierre, HERMIA. Benoît, LAINE. Astrid, ROMAIN. 2016. Projections démographiques communales bruxelloises 2015-2025, cahier de l'IBSA n°6. 68p
- DELBOSC, Alexa. Currie, GRAHAM. 2013. Causes of Youth Licensing Decline: A Synthesis of Evidence, Transport Reviews, 33:3. Transport Research Group of the Institute of Transport Studies at Monash University, pp. 271-290
- FAGNANT, Daniel J. Kara, KOCKELMAN. 2015. Preparing a nation for autonomous vehicle: opportunities, barriers and policy recommendations for capitalizing on self-driven vehicles. in Transportation Research Part A 77, pp. 167-181
- FAGNANT, Daniel J. Kara, KOCKELMAN. 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. In Transportation Research Part C: Emerging Technologie. 40, pp. 1-13
- FLAMM, Michael.2008. L'industrialisation de l'auto-partage en Suisse. in Flux, 2/2008 (n° 72- 73), pp. 152-160
- FERNANDES, Pedro. 2012. "Platooning of IVC-Enabled Autonomous Vehicles: Information and Positioning Management Algorithms, for High Traffic Capacity and Urban Mobility Improvement". (Thesis at Institute of Systems and Robotics Department of Electrical and Computer Engineering University of Coimbra, Portugal). 151p
- FOCANT, Nathalie. 2015. Zoom sur les accidents mortels de la circulation à Bruxelles. IBSR. Bruxelles, Belgique : Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière.95p
- Forum International des Transports (OCDE).2016. Les solutions de mobilité partagée améliorent l'accès à l'emploi, aux services de santé et à l'éducation. Paris. 56p
- GOGUEN, Frank. John, CONNOLLY. 2015. Automobiles and the Age of Autonomy, the Boston Company.(Entreprise privé d'investissement avec department d'analyste).9p
- GOODWIN, Phil. Kurt, VAN DENDER.2013. 'Peak Car' — Themes and Issues, Transport Reviews, 33:3, pp. 243-254
- HOMEN, Gonçalo. Bart, VAN AREM. 2016. Solving the User Optimum Privately Owned Automated Vehicles Assignment Problem (UO-POAVAP): A model to explore the impacts of self-driving vehicles on urban mobility. In Transportation Research Part B, pp. 64-88
- HOPPE, Merja. Andreas, CHRIST. Alberto, CASTRO. Martin, WINTER. Tiina-Maria, SEPPANEN. 2014. Transformation in transportation? European Journal of Futures Research (2014), pp. 1-14
- International Transport Forum (OCDE). 2015. Automated and Autonomous Driving Regulation under uncertainty. Paris. 32p
- International Transport Forum (OCDE). 2015. A New Paradigm for Urban Mobility How Fleets of Shared Vehicles Can End the Car Dependency of Cities. Paris. 12p
- International Transport Forum (OCDE). 2016. Shared mobility. Paris. 56p

- KELKEL, Reiner. 2015. "Predicting consumers' intention to purchase fully autonomous driving systems – Which factors drive acceptance?". Thesis at Universidade Católica Portuguesa Católica-Lisbon School of Business and Economics. 77p
- KNIGHT, Will. 2013. Driverless Cars Are Further Away Than You Think. MIT technology review. Décembre 2013. 7p
- KOBAYASHI, I., TSUBOTA, Y., KAWACHIMA, H., 2007. Eco-driving Simulation: Evaluation of Eco-driving within a Network using Traffic Simulation. In Urban Transport XIII. Urban Transport and the Environment in the 21st Century. 10p
- KPMG LLP and the Center for Automotive Research (CAR). 2012. Self-driving cars: The next revolution. Delaware. 36p
- LABRECQUE, Julie. 2014. « Stratégie de promotion intégrée pour une culture du vélo durable à Montréal : Leçon de Munich ». Thèse pour maîtrise en environnement université de Sherbrooke. 113p
- LEBRUN, Kevin. Michel, HUBERT. Philippe HUYNEN. Astrid, De WITTE. Cathy, MACHARIS. 2013. Cahiers de l'Observatoire de la mobilité de la Région de Bruxelles-Capitale, Les pratiques de déplacement à Bruxelles, pour Bruxelles-Mobilité. 112p
- LITMAN, Todd. 2015. Autonomous Véhicule Implementation Predictions: Implications for transport planning, Victoria Transport Policy Institute. 22p
- MACKENZIE, Donald. Stephen, ZOEPF. HEYWOOD, John. 2014. Determinants of US passenger car weight. International Journal of Vehicle Design. 65 (1), pp. 73–93
- MARTIN, Elliot. Susan, SHAHEEN. Jeffrey, LIDICKER. 2010. Impact of Carsharing on Household Vehicle Holdings, Results from North American Shared-Use Vehicle Survey, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2143, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 150–158
- MINOC, Gérard. 2012. Synthèse des travaux d'analyse des accidents mortels de l'année 2011. pour Institut d'Etude des Accidents de la route. 34p
- Modal Shift association. 2010. Plus d'infrastructures routières : une fausse bonne solution ! Bruxelles. 14p
- MULLIGAN, Catherine. 2014. ICT & the future of transport. Part 2/8 Industry Transformation – Horizon Scan. Stockholm. 34p
- MORROW, William. Jeffery, GREENBLATT. Andrew, STURGES. Samveg, SAXENA. Anand, GOPAL. Dev, MILLSTEIN. Nihar, SHAH. Elisabeth, GILMORE. 2014. Key Factors Influencing Autonomous Vehicles' Energy and Environmental Outcome. In Road Vehicle Automation, Lecture Notes in Mobility, pp. 127-135
- National research council. 2009. Driving and the Built Environment, The Effects of Compact Development on Motorized Travel, Energy Use, and CO2 Emissions. Transportation Research Board | SPECIAL REPORT 298. Washington. 257p
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). 2008. National Motor Vehicle Crash Causation Survey : Report to Congress. United States of America. 47p
- NEWMAN, Peter. Jeffrey, KENWORTHY. 2006. Urban Design to Reduce Automobile Dependence. Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies: Vol. 2: No. 1, Article 3. 19p
- NEWMAN, Peter. Jeffrey, KENWORTHY. 2011. Peak Car Use: Understanding the Demise of Automobile Dependence. World Transport Policy & Practice. 17 (2), pp. 31-42
- ORFILA, Olivier. 2011. Impact of the Penetration Rate of Ecodriving on Fuel Consumption and Traffic Congestion. In YRS11: Young Researchers Seminar 2011. 16p
- PEETERS, Anne. 2016. Plus de ligne blanche, moins de files. In Le vif, l'express : spécial mobilité. 4ème cahier-n°1 janvier 2016, pp. 9-12

- PETERSON, Lynn. 2015. The 2015 Corridor Capacity Report. Pour WSDOT : Washington State Department of Transportation. 50p
- POLZIN, Steve. 2013. Implications to Public Transportation of Automated or Connected Vehicles. Pour CUTR : Transportation Mobility Research Program Center for Urban Transportation Research University of South Florida. 15p
- PROOST, Stef. VAN DENDER, Kurt. 2010. What sustainable road transport future? Trends and policy options. Pour Joint Transport Research Centre (ITF OCDE). 36p
- PROVELO. 2015. Observatoire du vélo en région de Bruxelles capitale. 19p
- QIAN, Gongbin. Edward, Chung.2011. Evaluating effects of eco-driving at traffic intersections based on traffic micro-simulation in Australasian Transport Research Forum 2011. 11p
- ROGERS, Everett. 1995. Diffusion of innovation. New York, 4th edition. 236p
- SEBESTYEN, Joe. Swati, KHURANA. Gaurav, BATRA. 2014. Deploying autonomous vehicles: commercial considerations and urban mobility scenario. Ernst & Young Global Limited,sl. 8p
- SHAHEEN, Susan. Adam, Cohen. Melissa, Chung. 2009. North American Carsharing 10-Year Retrospective. Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley. 10p
- SHANKER, Ravi. Adam, JONAS. Scott, DEVITT. Katy, HUBERTY. Simon, FLANNERY. William, GREENE. Benjamin, SWINBURNE. Gregory, LOCRAFT. Adam, WOOD. Keith, WEISS. Joseph, MOORE. Andrew, SCHENKER. Paresh, JAIN. Yejay, YING. Shinji, KAKIUCHI. Ryosuke, HOSHINO. Andrew, HUMPHRE. 2013. Autonomous Cars Self-Driving the New Auto Industry Paradigm. pour MORGAN STANLEY (bureau consultance). 109p
- SHLADOVER, Steven. 2011. How Vehicular Networking Can Enable Automated Driving. Californian PATH (Partners for Advanced Transportation Technology) presentation. 38p
- SORIANO, Bernard. Stephanie, DOUGHERTY. Brian, SOUBLET. Kristin, TRIEPKE. 2014. Autonomous Vehicles: A Perspective from the California Department of Motor Vehicles. in Road Vehicle Automation, Lecture Notes in Mobility, pp. 15-24
- SPIESER, Kevin. Kyle, TRELEAVEN, Rick, ZHANG. Emilio, FRAZZOLI. Daniel, MORTON. Marco, PAVONE. 2014. "Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems A Case Study in Singapore." in Gereon Meyer, Sven Beiker (editors). Road Vehicle Automation, (Lecture Notes in Mobility), Springer. 17p
- SPF Mobilité et Transports. 2015. Véhicules autonomes: innovation et réglementation vont de pair. Communiqué de presse.Belgique. 3p
- STEER, Davies. Roberta, FRISONI. Andrea, DALL'OGGIO. Craig, NELSON. James LONG. Christoph, VOLLATH. Davide RANGHETTI. Sarah McMINIMY. 2016. Research for TRAN Committee – Self-piloted cars: The future of road transport?. Policy Department Structural and Cohesion Policies European Parliament. 110p
- STOKES, Gordon. 2013. The Prospects for Future Levels of Car Access and Use. Transport Reviews, 33:3, pp. 360-375
- THOMOPOULOS, Nikolas. Moshe, GIVONI. 2015. The autonomous car—a blessing or a curse for the future of low carbon mobility? An exploration of likely vs. desirable outcomes. European Journal of Futures Research (2015). 14p
- TIENTRAKOOL, Patcharinee. Ya-Chi, HO. Nicholas, MAXEMCHUK. 2011. Highway Capacity Benefits from Using Vehicle-to-Vehicle Communication and Sensors for Collision Avoidance. Department of Electrical Engineering Columbia University. New York, USA. 5p
- VAN AREM, Bart. Jeroen, HOGEMA. Stef, SMULDERS. 1996. The impact of autonomous intelligent cruise controle on traffic flow. TNO institute Netherlands. 11p

VAN DEN BERG, Vincent. Erik, VERHOEF. 2015. Robot Cars and Dynamic Bottleneck Congestion: The Effects on Capacity, Value of Time and Preference Heterogeneity., Tinbergen institute. Amsterdam. 29p

WADUD, Zia. Don, MACKENZIE. Paul, LEIBY. 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. in Transportation Research Part A, pp. 1-18

ZACHARIADIS, Theodoros. 2012. Cars and Carbon Automobiles and European Climate Policy in a Global Context. Department of Environmental Science & Technology Cyprus University of Technology. 425p

B. SOURCES INTERNET

Blablacar. (Publié en 2012) (Consulté en Novembre 2016), croissance européenne, at <https://www.blablacar.fr/european-growth>.

CHAZALS, P. (Publié en 2017) (Consulté en Mars 2017), Psychologie de l'enfant : que se passe-t-il à l'âge de raison ?, at <http://www.vosquestionsdeparents.fr/dossier/724/que-se-passe-t-il-a-lage-de-raison>.

CHIMITS, Xavier. (Publié le 26 mars 2015) (Consulté en Novembre 2016), évolution dimension voiture, at <http://www.largus.fr/actualite-automobile/voiture-moyenne-2014-son-evolution-depuis1953-6057388-7465959-photos.html>.

ECENBARGER, William. (Publié en 2009) (Consulté en Novembre 2016), "Buckle Up Your Seatbelt and Behave," Smithsonian Magazine (www.smithsonianmag.com); at www.smithsonianmag.com/science-nature/Presence-of-Mind-Buckle-Up-And-Behave.html

Frost & Sullivan. (Publié en 2016) (Consulté en Novembre 2016), Future of Carsharing Market to 2025, at <http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=MB4D-01-00-00-00&bdata=aHR0cDovL3d3dy5mcm9zdC5jb20vc3VibGliL3N1YnNjcmlwdGlvbi1pbmRleC5kbz9zdWJzY3JpcHRpb25JZD05ODAwLUE2QH5AQXV0b21vdGl2ZSwgSW5kdXN0cnkgUmVzZWYy2gsIEdsb2JhbEB%2BQDE0NzlxMDY1NDQyOTg%3D&subscriptionId=9800-A6>

KAUFMAN, A (Publié en 2014) (Consulté en Novembre 2016), Elon Musk: We'll Have Driverless Cars By 2023, at http://www.huffingtonpost.com/2014/10/15/tesla-driverlesscars_n_5990136.html

KEEN, Andrew. (Publié en 2013) (Consulté en Novembre 2016), "The Future of Travel: How Driverless Cars Could Change Everything," CNN Business Traveler, 15 May; at <http://edition.cnn.com/2013/05/13/business/business-traveller-transportationfuturecast>.

KRAG, T. (Publié en 2012) (Consulté en Novembre 2016), How to promote cycling by other means than infrastructure. In Thomas Krag Mobility Advice. Lectures and Articles., at <http://www.thomaskrag.com/20120823VOCA.pdf> . 65p

Nissan. (Publié en 2013) (Consulté en Novembre 2016), Nissan Announces Unprecedented Autonomous Drive Benchmarks, at <http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissanannounces-unprecedented-autonomous-drive-benchmarks#!>

SPF économie. (Publié en 2016) (Consulté en Mars 2017), Statistique / Circulation et transport/ Circulation / Parc de véhicule / type de carburant. http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/circulation_et_transport/circulation/parc/

SU, J.B. (Publié en 2015) (Consulté en novembre 2016), Exclusive Interview: Ford CEO Expects Fully Autonomous Cars In 5 Years, at <http://www.forbes.com/sites/jeanbaptiste/2015/02/05/exclusive-interview-ford-ceo-expects-fully-autonomous-cars-in-5-years/>

TORR, F. (Publié en 2014) (Consulté en novembre 2016), Next-gen Audi A8 drives better than you, at <http://www.motoring.com.au/news/2014/prestige-and-luxury/audi/a8/next-genaudi-a8-drives-better-than-you-46963>

TAM, D. (Publié en 2012) (consulté en novembre 2016), Google's Sergey Brin: You'll ride in robot cars within 5 years, at <http://www.cnet.com/news/googles-sergey-brin-youll-ride-inrobot-cars-within-5-years/>

8. ANNEXE

Tableau récapitulatif du scénario ville 1

Scénario Ville 1		5 Momentum				
Aucune condition		0% VA	100% VA3	100% VA4	50% VA5	100% VA5
Facteur capacité de la route						
	Capacité	0%	0%	-5%	-5%	-10%
	Diminution accident	0%	+10%	+10%	5%	+5%
Total		0%	+10%	+5%	0%	-5%
Facteur volume du trafic						
	Démographie	0%	+5%	+15%	+20%	+30%
	Gestion du trafic	0%	+5%	+10%	+15%	+20%
	Accès à la mobilité	0%	0%	0%	+50%	+50%
	Nbre km parcourus	0%	+5%	+10%	+25%	+35%
	Voyage à vide	0%	0%	+25%	+35%	+75%
Effet du co-voiturage et du partage des véhicules		-	-	-	-	-
Total		0%	+15%	+60%	+120%	+210%

Tableau récapitulatif du scénario ville 2

Scénario Ville 2		5 Momentum				
Condition compatibilité remplie		0% VA	100% VA3	100% VA4	50% VA5	100% VA5
Facteur capacité de la route						
	Capacité	0%	0%	+10%	+10%	+20%
	Diminution accident	0%	+10%	+10%	+10%	+10%
Total		0%	+10%	+20%	+20%	+30%
Facteur volume du trafic						
	Démographie	0%	+5%	+15%	+20%	+30%
	Gestion du trafic	-10%	-20%	-10%	-5%	0%
	Accès à la mobilité	0%	0%	0%	+50%	+50%
	Nbre km parcourus	0%	+5%	+10%	+25%	+35%
	Voyage à vide	0%	0%	+25%	+35%	+75%
Effet du co-voiturage et du partage des véhicules		-	-	-	-	-
Total		-10%	-10%	+40%	+100%	+190%

Tableau récapitulatif du scénario ville 3

Scénario Ville 3		5 Momentum				
Ville compatible, voiture partagée et co-voiturage		0% VA	100% VA3	100% VA4	50% VA5	100% VA5
Facteur capacité de la route						
	Capacité	0%	0%	+10%	+10%	+20%
	Diminution accident	0%	+10%	+10%	+10%	+10%
Total		0%	+10%	+20%	+20%	+30%
Facteur volume du trafic						
	Démographie	0%	+5%	+15%	+20%	+30%
	Gestion du trafic	-10%	-20%	-10%	-5%	0%
	Accès à la mobilité	0%	0%	0%	+50%	+50%
	Nbre km parcourus	0%	+5%	+10%	+25%	+35%
	Voyage à vide	0%	0%	0%	+5%	+10%
Effet du co-voiturage et du partage des véhicules		-60%	-60%	-30%	-30%	-30%
Total		-70%	-70%	-15%	+40%	+95%

Tableau récapitulatif du scénario autoroute 1

Scénario Autoroute 1		5 Momentum				
Aucune condition		0% VA	100% VA3	100% VA4	50% VA5	100% VA5
Facteur capacité de la route						
	Capacité	0%	+10%	+20%	+30%	+40%
	Diminution accident	0%	+10%	+10%	+10%	+10%
Total		0%	+20%	+30%	+40%	+50%
Facteur volume du trafic						
	Démographie	0%	+5%	+15%	+20%	+30%
	Gestion du trafic	0%	+5%	+10%	+15%	+20%
	Accès à la mobilité	0%	0%	0%	+50%	+50%
	Nbre km parcourus	0%	+10%	+20%	+25%	+35%
	Voyage à vide	0%	0%	+35%	+45%	+90%
Effet du co-voiturage et du partage des véhicules		-	-	-	-	-
total		0%	+15%	+65%	+110%	+195%

Tableau récapitulatif du scénario autoroute 2

Scénario Autoroute 2		5 Momentum				
Condition compatibilité remplie		0% VA	100% VA3	100% VA4	50% VA5	100% VA5
Facteur capacité de la route						
	Capacité	0%	+500%	+500%	+500%	+500%
	Diminution accident	0%	+15%	+15%	+20%	+25%
Total		0%	+515%	+515%	+520%	+525%
Facteur volume du trafic						
	Démographie	0%	+5%	+15%	+20%	+30%
	Gestion du trafic	-10%	-20%	-10%	-5%	0%
	Accès à la mobilité	0%	0%	0%	+50%	+50%
	Nbre km parcourus	0%	+10%	+20%	+25%	+35%
	Voyage à vide	0%	0%	+35%	+45%	+90%
Effet du co-voiturage et du partage des véhicules		-	-	-	-	-
total		-10%	-5%	+60%	+110%	+205%

Tableau récapitulatif du scénario autoroute 3

Scénario Autoroute 3		5 Momentum				
Ville compatible, voiture partagée et co-voiturage		0% VA	100% VA3	100% VA4	50% VA5	100% VA5
Facteur capacité de la route						
Capacité		0%	+500%	+500%	+500%	+500%
Diminution accident		0%	+15%	+15%	+20%	+25%
Total		0%	+515%	+515%	+520%	+525%
Facteur volume du trafic						
Démographie		0%	+5%	+15%	+20%	+30%
Gestion du trafic		-10%	-20%	-10%	-5%	0%
Accès à la mobilité		0%	0%	0%	+50%	+50%
Nbre km parcourus		0%	+10%	+20%	+25%	+35%
Voyage à vide		0%	0%	+10%	+15%	+20%
Effet du co-voiturage et du partage des véhicules		-60%	-60%	-30%	-30%	-30%
total		-70%	-65%	+5%	+50%	+105%

Tableau récapitulatif scénario environnement

		2030			2050			2050				
V partagé				4%			20%			20%		
Non autonome				50%			0%			0%		
VA3				50%			50%			100%		
VA5				0%			50%			0%		
Covoiturage												
Absorbe augmentation population												
	%VA	ration V partagé	Effet	2030	Ratio V partagé	V non partagé	Effet	2050	Ratio V partagé	V non partagé	Effet	2050
Gestion trafic	50% VA3		-20%	-10%			-20%	-10%			-20%	-10%
	50% NVA		-10%	-5%			-	-			-	-
Accès à la mobilité				-				50%				0%
Nbre km parcouru	50% VA3		5%	2,50%			5%	2,50%			5%	5,00%
	50% NVA		0%	-			-	-			-	-
	50% VA5		35%	-			35%	17,50%			-	-
voyage à vide	50% VA3	2%	-30%	-0,60%		40%	-	-		40%	-	-
	50% NVA	2%	-30%	-0,60%	10%		-30%	-3,00%	20%		-30%	-6,00%
	50% VA5			-	10%		10%	1%				
				-		40%	75%	30%				
TOTAL variation trafic				-14%				88%				-11%
éco-conduite				-				-5%				-5%
Elément sécurité	100%VA				20%	voir right sizing			20%	voir right sizing		
					80%	-10%		-8%	80%	-10%		-8%
Right sizing		pas de masse critique suffisante			20%		-50%	-10%	20%		-50%	-10%
Platooning	50% VA		-10%	-5%								
	100% VA						-10%	-10%			-10%	-10%
Vitesse	100% VA						10%	10%			10%	10%
TOTAL variation consommation				-5%				-23%				-23%
Impact total				81,70%				144,76%				68,53%