



LOUVAIN

School of Management

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

LOUVAIN SCHOOL OF MANAGEMENT

Analyse prospective sur
l'implémentation de la voiture autonome :
impact sur l'industrie automobile et le citoyen

Mémoire-recherche présenté par Alexia Biglia

Promoteur : Paul Belleflamme

En vue de l'obtention du titre de
Master en sciences de gestion

ANNEE ACADEMIQUE 2014-2015

Je remercie vivement

Paul Belleflamme, Marco Biglia et Anne Machiels

pour leur relecture consciencieuse de ce texte

et pour leurs nombreuses suggestions constructives.

Table des matières

Introduction	1
Partie I – Industrie Automobile	3
1. Développement de l’automobile aux États-Unis	3
2. Externalités négatives de l’industrie automobile	5
2.1. Congestion	5
2.2. Pollution de l’air	8
2.3. Accidents	8
2.4. Conclusion	9
Partie II – La voiture autonome.....	11
1. Histoire de la voiture autonome	11
2. Définition de la voiture autonome	12
3. Niveaux d’autonomisation	13
4. Technologies	15
4.1. Perception	16
4.2. Planification	17
4.3. Action.....	18
4.4. Communication	18
5. Type d’innovation	20
5.1. Innovation de rupture	20
5.2. Technology push versus market pull	21
5.3. Innovation de produit	22
6. Impact sur l’industrie	23
6.1. Structure de l’industrie	23
6.2. Nouveaux modèles économiques	26
7. Avantages attendus	28
7.1. Diminution des accidents	29
7.2. Diminution de la pollution	30
7.3. Diminution de la congestion	32
7.4. Amélioration de la productivité.....	35
7.5. Amélioration de l’accès à la mobilité	35
7.6. Effet rebond	36

II.

8. Obstacles à l'adoption	36
8.1. Acceptation du consommateur	36
8.2. Responsabilité	38
8.3. Infrastructure	40
8.4. Coût – Technologie	41
8.5. Taux de renouvellement du parc automobile	42
8.6. Morale et éthique	42
9. Diffusion de la voiture autonome	43
Partie IV – Parties prenantes	48
1. Entreprises privées	48
1.1. Constructeurs automobiles	48
1.2. Fournisseurs de technologies	51
1.3. Opérateurs de téléphonie mobile	52
2. Pouvoirs publics	53
Partie V – Recommandations	56
1. Acceptation du consommateur	56
1.1. Via les constructeurs	56
1.2. Via les pouvoirs publics	58
1.3. Via les chefs d'entreprises	60
2. Responsabilité	61
3. Infrastructure	62
4. Inefficacité du marché	63
Partie VI – Conclusion	64
Partie VII – Bibliographie	67

Introduction

Ce document a pour but d'étudier le développement de la voiture autonome, ses impacts positifs ainsi que les obstacles à son implémentation afin de définir les actions à mettre en place par les différents acteurs pour permettre la commercialisation de cette innovation.

Pour ce faire, nous répondrons à plusieurs questions de recherche. Quelles sont les externalités négatives causées par l'automobile ? A quel point sommes-nous avancés dans le développement de la voiture autonome ? Améliore-t-elle le bien-être de la population et diminue-t-elle les externalités négatives causées par l'automobile ? Existe-t-il des obstacles à son adoption ? Lesquels ? Qui sont les acteurs dans le développement de cette innovation ? Quelles sont les actions à mettre en place afin de commercialiser la voiture autonome ?

En 2010, Google présente un prototype de voiture sans conducteur, appelée plus tard la Google Car¹. Depuis cette présentation, les constructeurs automobiles se lancent dans la recherche et le développement de la voiture autonome. Début 2015, certaines marques commercialisent des voitures semi-autonomes, capables de prendre le contrôle sous certaines conditions limitées. En 2020, il se pourrait que les premières voitures totalement autonomes soient mises en vente.

Le but de ce travail est d'exposer les effets néfastes de la consommation de masse des voitures traditionnelles et la manière dont la voiture autonome est capable de les supprimer. Pour ce faire, nous avons basé nos recherches sur la situation aux États-Unis car ce pays constitue un marché conséquent pour y analyser les effets néfastes de l'automobile. De plus, lors de la mise en chantier de notre travail, les auteurs américains publiaient davantage d'articles car ils constituent les pionniers dans le domaine.

Pour commencer, nous estimons qu'il est primordial d'établir un contexte afin de comprendre l'engouement pour cette innovation. Par conséquent, nous détaillerons l'impact du développement de l'automobile ainsi que son importance actuelle sur la situation

¹ Google (2015). *Our History in depth*.

<http://www.google.com/about/company/history/#2010> (Consulté le 25/07/2015).

2.

économique des États-Unis. Nous détaillerons également les externalités négatives qui résultent de cette consommation de masse.

Ensuite, nous établirons un état des lieux de cette innovation. Nous expliquerons comment cette innovation est née et la définirons afin que le lecteur ait une bonne compréhension du concept étudié. Nous énumérerons les différents niveaux d'autonomisation par lesquels passera l'innovation avant d'atteindre le niveau ultime : la voiture autonome. Nous exposerons également les technologies nécessaires à son fonctionnement.

Après cet état des lieux, nous commencerons notre étude prospective. Après avoir défini le type d'innovation auquel correspond la voiture autonome, nous exposerons l'impact de celle-ci sur la structure de l'industrie automobile. Nous décrirons également ses impacts positifs ainsi que les freins existants à son implémentation. Pour terminer, nous tenterons d'établir un modèle de diffusion que la voiture autonome suivra sur la base du modèle théorique de diffusion de l'innovation.

Par la suite, nous identifierons les différents acteurs qui joueront un rôle dans la préparation à la commercialisation de la voiture autonome. Nous les présenterons et établirons les raisons de leur implication. Cette partie et la suivante ne concerneront plus uniquement les États-Unis car les acteurs et les actions à mettre en place seront semblables dans les différents pays développés.

Finalement, les recommandations contiennent les actions que les pouvoirs publics et les entreprises privées pourraient mettre en place pour permettre la commercialisation de la voiture autonome dans quelques années. Premièrement, les constructeurs automobiles et les pouvoirs publics éduqueront les consommateurs au sujet des bienfaits de l'innovation. Deuxièmement, les pouvoirs publics résoudront les problèmes de responsabilité liés à l'utilisation d'une voiture sans conducteur. Troisièmement, des travaux d'infrastructure seront réalisés sous la coordination des pouvoirs publics et des entreprises privées. Enfin, les pouvoirs publics légiféreront afin de résoudre l'inefficacité de marché.

Partie I – Industrie Automobile

Dans cette partie, nous commençons par expliquer l'histoire de l'automobile aux États-Unis ainsi que son impact favorable sur l'économie du pays. Ensuite, nous expliquons les effets négatifs résultants de son développement et de sa large diffusion.

1. Développement de l'automobile aux États-Unis

Comme la plupart des inventions, il n'existe pas de point précis dans le temps qui constitue l'invention de l'automobile. Celle-ci est le fruit d'une évolution d'idées et d'actions qui a débuté avec des plans de véhicule à moteur dessinés par Léonardo da Vinci (1452-1519)² et Isaac Newton (1642-1727)³ (Dutton, 2006).

Un véhicule automobile est « mû par un moteur » (Le Robert Micro, 1997, p. 89). Partant de cette définition, la première automobile a été inventée par le Français Nicolas-Joseph Cugnot en 1769. Il s'agissait d'une voiture à trois roues équipée d'un moteur à vapeur et destinée à l'armée française. Le premier moteur à essence est inventé par Daimler et Maybach en 1885 et est incorporé dans un véhicule à trois roues conçu par Karl Benz. Il est le premier à demander un brevet pour un véhicule à essence. Daimler et Benz ne sont pas considérés comme des fabricants de voitures. Ils créent des moteurs et dessinent des véhicules uniquement dans le but de les tester. Les premiers véritables constructeurs automobiles sont Français : Panhard & Levassor (1889) et Peugeot (1891). Benz devient, à son tour, constructeur en 1894 et crée le premier modèle standardisé avec 134 productions, il devient ainsi le plus gros constructeur automobile dans le monde en 1900 (Dutton, 2006).

Les premières voitures à essence qui circulent aux États-Unis sont des modèles importés d'Europe. En 1893 les frères Duryea y créent la première entreprise de construction d'automobiles à essence (Library of Congress, 2011). Le modèle restera en fabrication

² Encyclopédie Larousse (n.d.). Léonard de Vinci.
http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/L%C3%A9onard_de_Vinci/129493 (Consulté le 30/07/2015).

³ Encyclopédie Larousse (n.d.). *sir Isaac Newton*.
http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/sir_Isaac_Newton/135134 (Consulté le 30/07/2015).

4.

jusqu'en 1920 mais ne s'élèvera jamais au statut de production de masse. Le premier véhicule à atteindre ce statut est la Curve Dash Olds en 1901 par la firme Olds Motor Works. L'invention de la ligne d'assemblage simple a permis à cette entreprise d'offrir une large production de voitures à petit prix. En 1908, la sortie de la Ford T de Henry Ford remporte un grand succès. Il a pour ambition de créer des voitures abordables pour l'ensemble de la population. C'est pourquoi il améliore les performances de la ligne d'assemblage par la réduction du temps de production et par conséquent des coûts (Dutton, 2006).

Cette nouveauté dans le mode de production fait progresser l'économie américaine par la création de dizaines de milliers d'emplois, directs ou indirects. En effet, la métallurgie et les fabricants d'outils connaissent un bel essor également. Cette création d'emplois augmente le pouvoir d'achat de ces travailleurs, elle rend la voiture accessible à une plus grande partie de la population. La consommation de masse engendre de nouveaux besoins et, par conséquent, de nouvelles opportunités de création d'entreprises ou d'extension de celles-ci à d'autres activités. Le secteur des assurances, la publicité, la réparation des voitures, la maintenance des routes et l'industrie pétrolière se développent pour répondre aux besoins engendrés par cette ascension des véhicules à moteur (Davies, 2012).

Le développement de l'automobile ne s'arrête pas là. Les constructeurs automobiles se développent, se multiplient et ne cessent d'innover. L'industrie automobile joue un rôle primordial dans l'économie du pays. En 2013, elle emploie plus de 600 000 Américains avec un salaire cumulé de 14 milliards de dollars. On compte 500 000 emplois supplémentaires créés grâce à son impact sur les autres industries (Global Automakers & American International Automobile Dealers, 2014). L'automobile constitue à notre époque la seconde plus grande dépense des familles américaines moyennes (Thrun, 2010).

Malheureusement, le secteur automobile entraîne également de nombreux effets négatifs qui, à terme, génèrent un impact sur l'économie du pays. Nous développons cet aspect dans la partie suivante.

2. Externalités négatives de l'industrie automobile

Hindriks (2004, p. 192) définit les externalités comme ceci : « *An externality is present whenever some economic agent's welfare (utility or profit) is "directly" affected by the action of another agent (consumer or producer) in the economy* ». Les externalités négatives sont des coûts causés et imposés par certains individus à d'autres sans les internaliser. En présence d'externalités négatives, le prix payé par les utilisateurs ne représente pas le « vrai prix » pour la société. Il lui est inférieur car le prix payé ne tient pas compte du coût pour la société (Hindriks, 2004). Les externalités sont généralement causées par une absence de droit de propriété sur la ressource concernée. Par exemple, la pollution de l'air est une externalité négative car les molécules d'air n'appartiennent à personne (Delucchi, 2000).

De ces externalités résulte un équilibre de marché qui n'est pas efficient et par conséquent, une consommation qui ne maximise pas le bien-être social (Hindriks, 2004).

2.1. Congestion

La congestion est causée par une addition de nouveaux véhicules à un trafic déjà dense qui mène à des embouteillages. La congestion rend les réseaux routiers inefficients.

Le trafic routier s'analyse selon le modèle de l'offre et de la demande (Smith, 2012). La demande représente les *Vehicle Miles of Travel* (VMT) qui correspondent au nombre de miles⁴ qu'un véhicule parcourt par an (Federal Highway Administration, 2012). L'offre est la capacité routière : le nombre maximal de voitures que l'infrastructure routière est capable d'accueillir sur une période de temps donnée. L'offre est invariable aux fluctuations de la demande et cette dernière est élastique : elle varie en fonction du prix payé par les utilisateurs. Ce prix comprend la perception que les conducteurs ont du temps passé en voiture. S'il s'approche de zéro, la demande augmentera. La capacité est invariable : lorsque le nombre de véhicules augmente, l'espace entre les véhicules décroît. Afin de respecter la « règle des trois secondes » : l'espace de sécurité requis entre deux véhicules, ceux-ci ralentissent. Cette baisse de vitesse entraîne une augmentation du temps de trajet et

⁴ Un mile est égal à 1,609 kilomètres.

6.

par conséquent, une augmentation du prix. La baisse de vitesse et la réduction de l'espace de sécurité constituent des phénomènes de congestion (Smith, 2012).

Quand l'offre égale la demande, autrement dit lorsque le nombre de véhicules sur une route augmente tellement que l'espace entre ceux-ci est quasiment nul et que la vitesse s'approche de 0 km/h, le phénomène d'embouteillage apparaît. Il s'agit du cas de congestion le plus extrême. Ce phénomène prend place lorsque la demande subit un pic ou que la capacité est soudainement réduite. Pour remédier à ce problème de congestion extrême, une augmentation de l'offre s'obtient par l'ajout d'une bande de circulation. Dans ce cas, le problème se répète, le prix est proche de zéro, ce qui entraîne une augmentation de la demande jusqu'à ce que celle-ci rencontre l'offre. Malgré ce mécanisme, une augmentation de la capacité des réseaux routiers pour les soulager de cette congestion est indispensable lorsque la demande augmente trop (Smith, 2012). Entre 1980 et 2003, le nombre VMT a augmenté de 111%. Par contre, l'augmentation de la capacité était de seulement 51% (U.S. Department of Transportation, 2005).

La congestion est également causée par des comportements inattendus des conducteurs comme par exemple : freiner soudainement, changer de bande, hésiter, manœuvrer ou encore ralentir pour voir ce qu'il se passe en face (Smith, 2012).

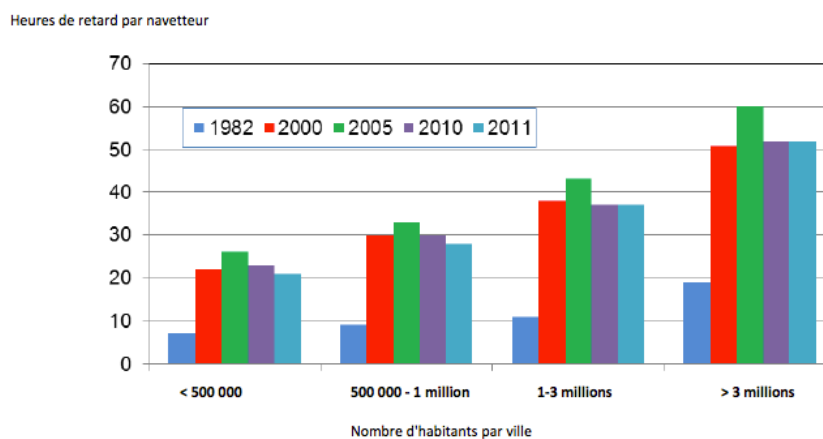
Le coût de la congestion est compliqué à prédire car ce phénomène varie en fonction du lieu et du moment (Parry, Walls & Harrington, 2007). Cependant, une étude sur la mobilité aux États-Unis estime le prix des ces retards à 121 milliards de dollars en 2011. Ce coût reprend le montant du carburant gaspillé (carburant utilisé lors des périodes de congestion) et la perte de productivité⁵. Schrank, Eisele et Lomax (2012) indiquent dans leur rapport sur la mobilité que les navetteurs américains doivent prévoir trois fois plus de temps pour effectuer un trajet que celui requis sans trafic. Ils nous montrent également que l'augmentation des retards sur une année en zone urbaine est passée de 16 heures à 38 heures en moyenne par conducteur. En 2011, les Américains ont accumulé plus de 5,5 milliards d'heures de retards causées par la congestion avec pour conséquence l'achat de

⁵ L'étude ne précise pas la méthode utilisée pour déterminer le coût de la perte de productivité. En général ce coût est égal à 50% du salaire (Small, 1992).

2,9 milliards de gallons⁶ de carburant supplémentaires. Ces chiffres connaissent une baisse dans les années 2008 et 2009 (Schrank, Eisele & Lomax 2012) mais celle-ci n'est pas significative car elle est déclenchée par la crise des *subprimes* de 2007. En effet, aux États-Unis, une large majorité des voitures sont achetées à crédit. La crise a rendu plus complexe l'accès au crédit, la demande n'a ainsi pu que se réduire (Lauer, 2008 ; Redoulès, 2009). Le résultat de cette baisse est une diminution du nombre de véhicules en circulation et par conséquent, une baisse du nombre de miles parcourus. D'où la diminution observée pendant les années 2008-2009, période de récession aux États-Unis (Economic Policy Institute, n.d.). Depuis cette période, nous observons une stabilité de ces chiffres. Nous soulignons qu'une absence de croissance de la congestion n'implique pas que le problème soit résolu.

L'évolution du problème de congestion ne se rencontre pas uniquement dans les grandes villes. Certes, les chiffres varient en fonction de leur taille et sont plus conséquents pour les zones fortement habitées mais comme représenté sur la figure 1; l'évolution concerne les villes de toutes tailles (Schrank, Eisele & Lomax 2012).

Evolution du nombre d'heures de retard



Source : Schrank, Eisele & Lomax (2012, p.6).

Figure 1 – Ce graphique indique l'évolution du nombre d'heures de retard causées par la congestion par navetteur et par an en fonction de la taille des villes.

⁶ 2,9 milliards de gallons correspondent à 10,98 millions de mètres cube.

8.

2.2. Pollution de l'air

Les polluants émis par les automobiles ont un impact sur la santé de la population. Cette influence sur la santé est un des coûts externes majeurs de l'automobile (Delucchi, 2000). Les effets négatifs de ces polluants sont locaux ou globaux.

Aux États-Unis, 95% des véhicules vendus utilisent l'essence comme carburant. Au niveau local, ces véhicules émettent du monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NO_x) ainsi que des hydrocarbures (HC). Le monoxyde de carbone cause des difficultés respiratoires ainsi que des problèmes cardiovasculaires. Les NO_x et HC affectent les fonctions pulmonaires des enfants et des asthmatiques. Les microparticules créées par ces deux éléments constituent une cause de mortalité (Dockery et al.; cité par Parry, Walls & Harrington, 2007).

Quant à la pollution globale de l'air, en 2011, les véhicules à moteur participent à hauteur de 23% aux émissions totales de CO₂, le gaz à effet de serre le plus important (United States Environmental Protection Agency, 2013). Le coût du réchauffement climatique induit par ces émissions automobiles de gaz à effet de serre en 2011 est estimé par l'*Environmental Protection Agency* à 41 milliards de dollars. Les dommages majeurs causés par le réchauffement climatique sont les suivants : changements de climat, dispersion des maladies tropicales, élévation du niveau de la mer causant pertes de terrain et d'infrastructure et dommage aux écosystèmes (United States Environmental Protection Agency, 2013).

2.3. Accidents

Depuis une dizaine d'années, nous observons une baisse considérable du nombre d'accidents de la route aux États-Unis. Cependant, les chiffres restent élevés. En 2010, la police a rapporté 5 419 000 accidents. De ces accidents, 2 239 000 personnes sont blessées et 32 885 tuées, cela représente 1 personne décédée toutes les 16 minutes. Les accidents de la route sont la cause principale de décès chez les personnes âgées entre 11 et 27 ans (NHTSA, 2012).

Le coût de ces accidents est estimé à plus ou moins 300 milliards de dollars par an, ce qui représente 2% du produit intérieur brut des États-Unis (Cambridge Systematics ; cité par Fagnant & Kockelman, 2013).

Le facteur humain est la cause principale des accidents avec 92,3% en 2007. En 2011, 31% de l'ensemble de ceux-ci impliquent un conducteur sous influence d'alcool (Lutin, Kornhauser & Lerner-Lam, 2013). L'irrespect des limitations de vitesse, les conducteurs distraits et l'incapacité à rester sur sa bande sont également des erreurs humaines en cause dans les accidents (Fagnant & Kockelman, 2013).

2.4. Conclusion

Il existe de multiples relations entre ces externalités. Les accidents de la route provoquent une diminution de la capacité routière ; par conséquent, elle entraîne le phénomène de congestion, qui, à son tour, induit des accidents routiers. En effet, une plus grande densité de véhicules entraîne une diminution de la distance de sécurité entre les voitures menant à plus d'opportunités de collision. Nous utilisons le terme « accidents secondaires » pour faire référence aux accidents causés par la congestion résultant d'un premier accident (Kalasova & Stacho, 2006). Celle-ci entraîne également une augmentation des émissions de polluants : les trajets durent plus longtemps et le nombre d'accélération et de freinages croît, ce qui augmente la consommation au kilomètre.

Pour diminuer les émissions de polluants ainsi que la congestion, il faut 1) diminuer le nombre total de kilomètres parcourus, 2) améliorer les technologies pour que les véhicules émettent moins et 3) augmenter le nombre de kilomètres parcourus par litre d'essence⁷ (Parry, Walls & Harrington, 2007).

Certaines mesures sont mises en place pour diminuer ces externalités. Il existe des taxes sur le carburant et sur l'utilisation des routes pour diminuer le nombre de kilomètres parcourus. Il persiste également des standards concernant le nombre maximal de grammes de CO, NO_x et HC émis par kilomètre (Smith, 2012). Des carburants alternatifs tels que l'électricité, le

⁷ Le nombre de kilomètres parcourus par litre de carburant dépend du type de moteur mais également du comportement du conducteur (Parry et al., 2007).

10.

LPG, les biocarburants, etc. sont mis au point. Malgré les mesures mises en place, ces externalités ne cessent de croître et rendent le secteur automobile inefficace.

Partie II – La voiture autonome

Dans cette partie, nous abordons le développement de la voiture autonome : sa conception. Ensuite, nous définissons ce concept et les différents niveaux d'autonomisation. Nous abordons, également, la question des technologies utilisées pour cette innovation. Après avoir défini le type d'innovation que constitue la voiture autonome, nous détaillons son impact sur la structure de l'industrie automobile. En outre nous détaillons ses avantages attendus ainsi que les obstacles liés à son développement. Pour terminer, nous établissons un modèle prévisionnel concernant sa commercialisation.

1. Histoire de la voiture autonome

L'idée de la voiture autonome n'est pas toute neuve. Elle fait sa première apparition lors de l'exposition Futurama de General Motors à l'occasion de la *World's Fair* de New York en 1939 (Anderson, Kalra, Stanley, Sorensen, Samaras & Oluwatobi, 2014). En 1950, Ford et General Motors présentent leur prototype de la voiture autonome. Certaines tentatives indépendantes voient également le jour au Japon et en Europe dans les années 60 à 80. Ces premières tentatives de *self-driving cars* roulent sur des circuits de test mais jamais dans des conditions de circulation réelles (Morgan Stanley, 2013).

La véritable avancée a eu lieu en 2004 avec la création du DARPA Challenge. Ce challenge est créé par la *Defense Advanced Research Project Agency*⁸ (DARPA). Il rassemble des universités, des constructeurs automobiles ou encore des innovateurs avec pour mission de créer un véhicule autonome à usage militaire. Ce challenge se déroule dans le désert où il est demandé que le véhicule autonome parcoure 150 miles (240 kilomètres). Alors que la première édition est un échec, la seconde est un succès avec cinq véhicules franchissant la ligne d'arrivée. En 2007, un nouveau challenge est lancé. Le défi était de parcourir 60 miles (97 kilomètres) en zone urbaine en respectant le code de la route et les obstacles auxquels un conducteur fait face au quotidien (Fagnant & Kockelman, 2013). A la suite de cette réussite, de nombreux constructeurs automobiles et certains participants tels que Google se lancent dans la recherche et le développement de la voiture autonome.

⁸ Agence américaine responsable des projets en recherche avancée pour la Défense.

2. Définition de la voiture autonome

La voiture autonome n'est pas encore sur le marché. Cependant, les constructeurs automobiles mettent au point de plus en plus de systèmes qui autorisent une conduite partiellement autonome. C'est pourquoi on parle énormément d'*Autonomous Vehicle Technologies*⁹ (AVT). Cela fait référence aux systèmes et aux développements qui permettent aux véhicules de prendre des décisions, d'assister le conducteur et d'agir à la place de l'être humain (Kalra, Anderson & Wachs, 2009). Une définition de ces technologies est (d'après Kalra et al., 2009, p. 19) : « *those technologies that gather information about the environment and autonomously make judgements about driving to inform the driver, take partial control of the vehicle, or drive the car autonomously without any human intervention* ». Ces technologies (cruise control auto adaptatif et *lane-keeping system* par exemple) sont regroupées sous le terme ADAS ou *Advanced Driver-Assistance Systems* (Kalra et al., 2009).

La voiture autonome, ou la voiture sans conducteur, conduit elle-même sur les routes existantes. Elle est capable de se déplacer sur différents types de revêtements et de conditions environnementales presque sans intervention de l'être humain (Fagnant & Kockelman, 2013). Nous utilisons le terme « presque » car la voiture autonome nécessitera l'intervention de l'utilisateur pour la définition sa destination.

Il existe deux types de voiture autonome : *self-contained et interconnected* (Glancy, 2012). Le premier type, *self-contained* ou indépendant, s'appuie uniquement sur les informations générées par le véhicule lui-même. La voiture est équipée d'une série de technologies qui recueillent les informations et donnent une connaissance de l'environnement à 360°. Cela permet à la voiture de réagir de manière proactive aux obstacles (Glancy, 2012).

Le second type, *interconnected* ou interconnecté, implique que la voiture est connectée à un ou plusieurs réseaux de communication (Glancy, 2012). La voiture reçoit des informations sur l'infrastructure, les autres véhicules, le trafic, la météo, des données GPS. Elle est donc contrôlée par le réseau (Morgan Stanley, 2013). Nous appelons les voitures de cette deuxième catégorie les voitures autonomes. Cependant, vu l'interdépendance de ces

⁹ Technologies de la voiture autonome.

voitures entre elles et avec l'infrastructure, il serait plus juste de les appeler voitures automatisées plutôt qu'autonomes. Dans ce travail, le terme autonomie se comprend comme l'indépendance de la voiture par rapport à son passager.

KPMG et CAR (2012) estiment qu'il doit exister une convergence de ces deux types de véhicules pour que la voiture puisse être totalement autonome. C'est pourquoi dans ce travail, la voiture autonome est un véhicule qui utilise les technologies basées sur les capteurs, radars et caméras ainsi que celles qui exploitent la communication avec les véhicules (V2V) et l'infrastructure (V2I). Nous développons ces technologies dans la section *Technologies*.

3. Niveaux d'autonomisation

Les avancées technologiques dans le secteur de l'automobile créent un continuum entre la voiture conventionnelle, c'est-à-dire la voiture qui nécessite le contrôle du conducteur en permanence et la voiture totalement autonome, qui ne requiert - à aucun moment (sauf pour définir la destination) - l'intervention du conducteur (Anderson et al., 2014).

La *National Highway Traffic Safety Administration*¹⁰ (NHTSA), a créé cinq niveaux d'autonomisation afin d'aborder les discussions avec les parties prenantes avec plus de clarté.

Niveau 0

Le conducteur est maître du véhicule à tout moment. Il contrôle les fonctions primaires telles que les freins, le volant, l'accélérateur et il reste le seul responsable du comportement de la voiture. Il doit surveiller la route et manœuvrer le véhicule de manière sûre. Les véhicules équipés de systèmes d'alerte mais sans autorité sur les fonctions primaires sont considérés comme appartenant au niveau 0 (NHTSA, 2013, p. 4). Les voitures de niveau 0 sont équipées d'allumage de phares automatique ou de capteurs de recul, par exemple.

¹⁰ Agence fédérale américaine pour la sécurité routière.

Niveau 1

Il existe une automatisation d'une ou plusieurs fonctions du véhicule. Il est impossible que ces fonctions soient automatisées en parallèle. Le conducteur garde le contrôle général du véhicule et reste responsable de la conduite de celui-ci mais il cède un certain contrôle des fonctions primaires. La voiture prend le contrôle d'une fonction ou apporte un support/contrôle supplémentaire au conducteur. En aucun cas, la voiture ne remplace la supervision de l'être humain, ni devient responsable du comportement du véhicule. C'est pourquoi deux fonctions primaires ne sont pas contrôlées par le véhicule simultanément. Cela empêche le conducteur de se détourner entièrement de la conduite en lâchant le volant et en ne posant plus les pieds sur les pédales, par exemple (NHTSA, 2013, p. 4). Les voitures du niveau 1 sont équipées d'un cruise control, du freinage automatique et/ou d'un système de maintien sur une bande, par exemple (NHTSA, 2013, p. 4).

Niveau 2

Les véhicules de niveau 2 disposent de fonctions primaires programmées pour agir en parallèle. Le véhicule et le conducteur se partagent l'autorité dans certaines situations. Le conducteur reste responsable du comportement de la voiture et reste disponible pour reprendre le contrôle rapidement car le système peut le lui céder sans l'alerter préalablement (NHTSA, 2013, p. 4). Les voitures du niveau 2 autorisent, par exemple, l'activation du cruise control auto adaptatif et le maintien sur une bande en même temps lorsque le trafic est dense et que la vitesse ne dépasse pas les 30 km/h. La différence avec les voitures de niveau 1 est que le conducteur peut maintenant se désengager physiquement de la conduite du véhicule en lâchant le volant et en enlevant ses pieds des pédales (NHTSA, 2013, p. 4). La NHTSA précise que le désengagement est physique car le conducteur doit continuellement surveiller la route et reprendre le contrôle lorsque les limitations requises ne sont plus rencontrées. Dans notre exemple, le conducteur reprend le contrôle lorsque la circulation se fluidifie et qu'il peut rouler à plus de 30 km/h. (NHTSA, 2013).

Niveau 3

Les véhicules de niveau 3 ont la capacité de contrôler l'ensemble de leurs fonctions sous certaines conditions environnementales et de trafic limitées. C'est au système de la voiture de surveiller les changements de ces conditions qui requièrent la retransmission du contrôle au conducteur. Ce dernier reste disponible pour des reprises de contrôle exceptionnelles mais dans un délai raisonnable. La spécificité du niveau 3 est que le conducteur ne surveille pas la route en permanence : la voiture détecte à l'avance les éléments perturbateurs à sa conduite autonome et le prévient qu'une reprise de contrôle sera nécessaire (NHTSA, 2013, p. 4). Avec les véhicules de niveau 3, le conducteur entre sa destination et la voiture s'occupe du reste. Elle déterminera l'itinéraire, accélérera, freinera et se dirigera d'elle-même. Ces véhicules savent désormais se diriger dans les carrefours, s'arrêter aux feux de circulation et utiliser les ronds-points, par exemple (Morgan Stanley, 2013). L'action du conducteur est requise lorsque la voiture approche de zones d'incertitude comme une zone de travaux, par exemple (NHTSA, 2013, p. 4).

Niveau 4

Le véhicule est capable de contrôler l'ensemble des fonctions (primaires et secondaires) et de s'adapter aux conditions de route durant l'entièreté du trajet. Le conducteur se charge uniquement d'introduire sa destination mais ne doit pas surveiller ce qu'il se passe. Ces véhicules peuvent se déplacer sans passager à bord. Le véhicule est responsable de sa conduite (NHTSA, 2013 p. 4). A bord d'une voiture de niveau 4, nous introduirons la destination et rien d'autre. La voiture se charge des fonctions primaires et secondaires (clignotants, phares, essuie-glace). Elle choisit également l'itinéraire le plus rapide en fonction des conditions de circulation : elle évite les zones congestionnées par exemple. Une fois arrivée à destination, la voiture laisse descendre ses passagers et elle part se garer (Anderson et al., 2014).

4. Technologies

Certaines technologies d'aide à la conduite sont déjà commercialisées. Cependant, ces systèmes ne représentent que le niveau primaire d'autonomisation que l'on souhaite

atteindre. Pour qu'une voiture soit totalement autonome, elle nécessite de nombreuses technologies matérielles ainsi que logicielles. Nous utilisons les termes *hardware* pour parler du matériel et *software* pour parler des logiciels. Le *hardware* ne requiert plus énormément de modifications. Le *software*, quant à lui, nécessite encore un développement conséquent.

La voiture autonome est considérée comme un robot. En effet, dans *l'Encyclopédie Larousse* (n.d.) un robot est défini comme « un appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable »¹¹. Un robot doit être capable d'effectuer trois fonctions (perception, planification et action) de manière efficace (RobotC, 2015).

Le modèle *perception-planification-action* est le modèle fondateur de la plupart des systèmes robotiques (Anderson et al., 2014). L'être humain réalise ces fonctions naturellement, sans même y penser. Or, pour qu'un système autonome exerce ces fonctions, cela requiert un travail complexe en ingénierie. Vu la complexité et l'incertitude liées à la conduite, les trois fonctions constituant le modèle doivent être opérées en même temps et plusieurs modèles doivent tourner de manière asynchrone (Kalra et al., 2009).

4.1. Perception

Un robot, a la capacité de percevoir les éléments primordiaux de son environnement. Cela le différencie d'une simple machine (RobotC, 2015).

La fonction de perception de la voiture autonome rassemble les informations sur l'environnement externe ainsi que sur son système interne, elle les fusionne afin de construire un modèle qui représente et décrit le robot, son environnement et la relation entre les deux (Kalra et al., 2009). Dans le cas des véhicules autonomes, la collecte de données est très vaste, elle reprend les conditions météorologiques, de trafic, les caractéristiques du véhicule ainsi que des informations sur le comportement du conducteur.

¹¹ Encyclopédie Larousse (n.d.). *Robot*

<http://www.bibl.ulaval.ca/doelec/doelec29.html#dictionnaireligne> (Consulté le 29/04/2015).

Cette fonction de perception pose plusieurs difficultés. Premièrement, il est nécessaire que les informations viennent de plusieurs capteurs différents car un capteur unique ne détecte que ce qui est à sa portée et dans son angle. Par conséquent, les informations seront plus fiables si elles proviennent de plusieurs capteurs de différents types. Deuxièmement, les informations viennent de plusieurs sources et il est nécessaire qu'elles soient traitées rapidement pour éviter une accumulation d'informations non traitées. Troisièmement, le système doit pouvoir différencier les bonnes et les mauvaises informations. Quatrièmement, les données venant de divers capteurs et à différents moments créeront des contradictions. Le système doit être capable de les réconcilier et de créer un modèle assez précis pour permettre au véhicule de conduire prudemment et de manière efficace (Kalra et al., 2009).

Les *hardwares* nécessaires à cette fonction de perception sont les caméras, les radars, les capteurs, le LIDAR¹² ainsi que les émetteurs et récepteurs GPS. Il existe certaines limites à cette combinaison de technologies. Pour commencer, certaines d'entre elles sont sensibles aux conditions climatiques : elles sont moins fiables par temps de pluie ou de brouillard. Ensuite, les différents revêtements du sol ont un impact: leur réflectivité varie. Les différents capteurs sont donc calibrés en fonction de ceux-ci. Or, la détermination du type de revêtement n'est pas toujours possible par les différentes technologies. Pour terminer, il existe des zones où il n'existe ni marquage au sol ni panneaux de signalisation entraînant une difficulté pour la voiture à suivre sa trajectoire (Anderson et al., 2014 ; DiClemente, Mogos & Wang, 2014 ; Morgan Stanley, 2013).

4.2. Planification

Le robot utilise un programme spécifique pour planifier son comportement. Il se sert des informations fournies par la fonction de détection pour donner les instructions concernant ce comportement (RobotC, 2015).

Dans le cas de la voiture autonome, le système applique un algorithme qui analyse le modèle créé par la fonction de perception et détermine un ensemble d'actions en vue

¹² Le LIDAR est une combinaison de radars et de lasers qui crée un profil de l'environnement de la voiture en trois dimensions (Morgan Stanley, 2013).

18.

d'atteindre son objectif (DiClemente et al., 2014). Le système de la voiture autonome est complexe, la phase de planification est primordiale. Cette fonction fournira une série de comportements semblables au comportement d'un humain (ex : changer de bande) ainsi que les actions à mettre en place pour effectuer ceux-ci (ex : tourner le volant de x degrés) (Kalra et al., 2009).

La difficulté de la fonction de planification est que le système dicte une action future en fonction du passé et du présent. Pour agir de la sorte, il prédit l'état futur de l'environnement contenant des éléments dont le comportement est imprévisible. Cela nécessite que le système génère des plans assez rapidement afin de faire face à des variations qui auraient eu lieu par rapport à la prédiction (Kalra et al., 2009).

La technologie de cette fonction de planification est complexe. Il s'agit d'un système d'exploitation qui gère et met en relation l'ensemble des logiciels et algorithmes liés à cette fonction. Ces logiciels sont chargés de compiler les informations fournies par l'ensemble des outils de perception et de les transformer en plan d'actions. Le système d'exploitation se perçoit comme le cerveau de la voiture (Morgan Stanley, 2013).

4.3. Action

Le robot agira pour mener à bien le plan (RobotC, 2015). Dans le cas de la voiture autonome, il s'agit du logiciel qui actionne les freins, l'accélérateur, le volant et autres fonctions (Kalra et al., 2009).

4.4. Communication

Le plus gros enjeu du modèle *perception-planification-action* est d'arriver à comprendre l'environnement et d'adapter le comportement de la voiture autonome en fonction de celui-ci. Le comportement de la voiture autonome s'adapte aux conditions météorologiques (neige, verglas, etc.) et aux types de revêtement (chemin de terre, pavés, etc.), par exemple. Pour ce faire, elle doit développer sa propre intelligence (Anderson et al., 2014). Pour y remédier, elle sera également équipée de systèmes de communication V2V et V2I (Lutin et al., 2013).

Ces deux systèmes de communication utilisent la DSRC, *Dedicated Short-Range Communications*. La DSRC est une plateforme de communication sans fil allouée aux communications V2V et V2I uniquement qui autorise la transmission d'une grande quantité d'informations via les fréquences radio (U.S. Department Of Transportation, 2014).

Vehicle to Vehicle

La V2V est un échange d'informations entre les véhicules utilisant les réseaux sans fil. Cette communication concerne la position, la direction, les ralentissements et la vitesse des voitures. Cela permet aux véhicules de contrôler le comportement des véhicules environnants et d'agir en fonction. L'objectif du développement de cette communication est la coordination des comportements des véhicules ainsi que leur interopérabilité (U.S. Department Of Transportation, 2014).

Les voitures communiquent sur leur position et leurs intentions afin que les autres véhicules anticipent leurs actions (Lutin et al., 2013). Les véhicules coordonneront leur comportement aux carrefours par exemple pour éviter de s'arrêter et de créer des files (Anderson et al., 2014). Pour être efficace, la V2V requiert un taux de pénétration élevé de véhicules équipés de cette technologie.

Le cruise control auto adaptatif et coopératif (CACC) est un exemple de combinaison du modèle *perception-planification-action* et de la communication V2V. Il s'agit d'une association entre le cruise control auto adaptatif et le système de communication V2V. Le CACC fournit des informations sur le véhicule qui nous précède mais également sur ceux devant ce dernier. Cela implique que lorsque qu'une voiture en tête de file freine, l'information est transmise via la V2V au système de notre véhicule, ce qui lui permet d'anticiper le comportement futur du véhicule qui le précède (Shladover, Nowakowski, Lu & Ferlis, 2014). La différence avec le cruise control auto adaptatif réside dans l'anticipation, le véhicule prévoit le comportement de la voiture qui le précède car il sait que l'automobile devant celle-ci a ralenti (FHWA, 2013).

Vehicle to Infrastructure

La communication entre les véhicules et l'infrastructure consiste en l'échange d'informations dont le but premier est d'améliorer la sécurité. Cependant, elle fournit également des avantages en terme de mobilité et d'environnement (U.S. Department Of Transportation, 2014). La V2I est une solution à certaines limites de la fonction de perception. L'infrastructure sera équipée de capteurs et d'émetteurs et communiquera sur les conditions de routes, qui nécessiteront une adaptation de la conduite telles que le verglas ou sur le type de revêtement, pour permettre au système de calibrer correctement ses technologies. Elle communique également les conditions de congestion pour que le système en tienne compte dans la planification de son itinéraire (Anderson et al., 2014).

5. Type d'innovation

5.1. Innovation de rupture

Selon Christensen (1997), une innovation de rupture s'adresse à d'autres consommateurs que ceux des firmes déjà existantes. Il s'agit d'un produit qui offre les mêmes fonctions pour un coût moindre. Dans sa formulation originale (1997), une innovation de rupture ne reposait que sur une innovation technologique. Avec le temps, Christensen élargit sa définition aux innovations de produits ou de modèles économiques mais qui entraînent toujours une baisse de prix (Christensen & Raynor, 2003).

A contrario, une autre définition d'une innovation de rupture nous apprend qu'elle est : « une innovation de produit ou de processus qui casse les règles du jeu et les normes en vigueur sur l'activité considérée » (d'après Blanco & Le Loarne, 2009, p. 17). Par conséquent, si l'on s'en tient à cette définition, une innovation de rupture ne nécessite pas de baisse de prix du produit mais entraîne un bouleversement des règles du marché et de la compétition.

Sur la base de ces deux définitions, il arrive, d'une part, qu'une innovation de rupture, selon Christensen, ne soit pas perturbatrice pour les marchés ; et, d'autre part, qu'une innovation perturbatrice pour ceux-ci (mais n'entraînant pas de baisse de prix) ne soit pas considérée

comme une innovation de rupture. Face à cette difficulté de trouver une définition claire de l'innovation de rupture, nous avons décidé de nous baser sur la définition donnée dans une étude de Reinhardt et Gurtner (2013, p. 2). Selon eux, une innovation de rupture 1) est inférieure au produit existant concernant une dimension valorisée par les consommateurs, 2) possède une nouvelle dimension et 3) est commercialisée pour un nombre restreint de consommateurs. La dimension additionnelle est souvent liée à la mobilité, la taille, le prix, la commodité et la convivialité. L'innovation de rupture satisfait certains de ces critères mais peut en violer d'autres (Reinhardt & Gurtner, 2013, p. 2). La voiture autonome semble bien correspondre à cette définition. Premièrement, elle est inférieure à la voiture conventionnelle au niveau du prix. En effet, il est attendu que la prime à payer pour ces véhicules soit importante. Deuxièmement, la nouvelle dimension de cette innovation est la conduite sans conducteur. Cette nouvelle dimension améliore la commodité, la mobilité et convivialité mais est plus chère. Troisièmement, comme nous l'expliquons dans la section *Diffusion de la voiture autonome*, dans un premier temps, elle ne sera offerte qu'à un petit nombre de consommateurs, les *early adopters*.

5.2. Technology push versus market pull

Dans le point précédent, nous avons démontré que la voiture autonome est une innovation de rupture. Nous déterminons maintenant si cette innovation est induite par les marchés ou si elle est le fruit de nouvelles technologies.

Nous distinguons deux grands types d'innovations: les *technology push* et les *market pull* (Fréry, Johnson, Whittington & Scholes, 2011). Dans le cas d'une innovation de type *technology push*, l'innovation est le résultat d'un engagement majeur en recherche et développement. Ces derniers précèdent l'analyse des opportunités du marché et du nouveau modèle économique à mettre en place. Dans le cas d'une innovation de type *market pull*, les consommateurs créent une pression sur la demande. Dès lors, la technologie est développée sur la base de leurs besoins, c'est-à-dire des opportunités du marché. Ce sont leurs attentes qui induisent l'innovation (Fréry et al., 2011 ; Russom, 2012).

Le *technology push* et le *market pull* sont deux approches d'innovations extrêmes. Une entreprise qui se concentre uniquement sur les besoins de ses consommateurs manquera

l'innovation de rupture répondant à des attentes non identifiées. Une entreprise qui se concentre uniquement sur des nouvelles technologies créera un produit qui ne répond à aucun besoin des consommateurs. Il est essentiel que les entreprises trouvent le juste équilibre entre ces deux extrêmes (Fréry et al., 2011 ; Russom, 2012).

La voiture autonome est une combinaison de ces deux approches. Certes, elle est née de la demande d'un petit groupe de consommateurs mais c'est après l'élaboration de ces technologies que les acteurs dans la recherche de ces technologies ont réalisé leur potentiel pour répondre aux lacunes du secteur automobile.

La voiture autonome est née d'un besoin militaire : le DARPA challenge a été créé pour l'armée américaine qui souhaitait des véhicules se déplaçant sans conducteur (Fagnant & Kockelman, 2013). Cette innovation est, par conséquent, le fruit d'une demande spécifique de certains utilisateurs. Après le succès de ce challenge, des partenariats se sont formés entre des universités et des constructeurs automobiles pour mettre au point et développer cette technologie. Google, avec son initiative de voiture sans conducteur, sort la voiture autonome des laboratoires universitaires pour la transformer en projet commercial (Anderson et al., 2014). Google conscientise les acteurs de la recherche sur les capacités de la voiture autonome à répondre à des besoins existants : mobilité pour les personnes âgées, malvoyants, réduction des erreurs humaines, etc. (Anderson et al., 2014). Les innovateurs réalisent que cette voiture a les aptitudes pour résoudre les externalités créées par le secteur automobile et auxquelles nous cherchons des solutions.

5.3. Innovation de produit

La voiture autonome est une innovation de produit car elle concerne l'offre commercialisée. Une innovation de ce type s'oppose à une innovation de procédé qui concerne la manière dont cette offre est créée et distribuée. A l'origine de l'industrie automobile, l'innovation de produit domine avec le type de motorisation, le nombre de roues, etc. Une fois le modèle dominant apparu avec la Ford T, l'innovation s'est concentrée sur les procédés afin d'obtenir ces produits de manière toujours plus efficiente. Ce cycle se renouvelle si des innovations contestent le modèle dominant (Fréry et al., 2011). Nous observons ce phénomène avec l'émergence de la voiture autonome qui modifie l'offre. Cette nouvelle

offre deviendra peut-être le modèle standard de l'industrie automobile comme l'était la Ford T à l'époque.

6. Impact sur l'industrie

La voiture autonome est une innovation de rupture. Cela implique un impact perturbateur sur les acteurs déjà en place dans l'industrie automobile. Les constructeurs et fournisseurs automobiles seront forcés de choisir. Certains verront la voiture autonome comme une menace et disparaîtront. D'autres la considéreront comme une opportunité pour se réinventer et devenir leader sur ce nouveau marché. Cette innovation de rupture permettra l'émergence de nouveaux acteurs dans l'industrie automobile. Nous observerons cette rupture sur le plan de la structure et des modèles économiques.

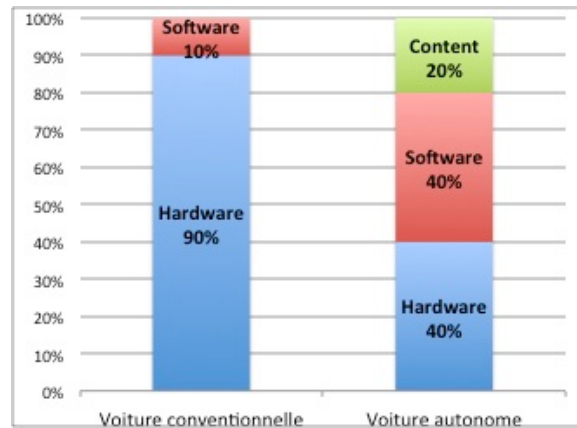
6.1. Structure de l'industrie

La voiture autonome créera deux changements majeurs dans l'industrie automobile d'aujourd'hui. D'une part, nous observerons un transfert de valeur de la voiture à proprement parler (*hardware*) aux logiciels (*software*). Ce transfert de valeur permettra l'entrée de nouveaux acteurs sur le marché des logiciels et des technologies de la voiture autonome. D'autre part, la voiture autonome introduira une nouvelle source de revenus : un marché entier se créera pour les composants de divertissements et d'*infotainment*¹³ qui feront partie intégrante de la voiture car le passager de la voiture autonome devra se tenir occupé pendant ses trajets (Morgan Stanley, 2013). Sur la figure 2, nous pouvons observer le transfert de valeur du *hardware* au *software* estimé par Morgan Stanley ainsi que la part de création de valeur de la nouvelle source de revenus.

¹³ L'infotainment est un mot valise qui regroupe les termes anglais *information* et *entertainment*. Cela fait référence à un type de média qui combine l'information et le divertissement.

Source : Wikipédia (2015). *Infotainment*. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Infotainment> (Consulté le 25/07/2015).

Comparaison du pourcentage de création de valeur des différentes dimensions entre la voiture conventionnelle et la voiture autonome



Source : Morgan Stanley (2013, p.68).

Figure 2 – Ce graphique est une estimation de la participation des dimensions *hardware*, *software* et *content* à la création de valeur d’une voiture autonome par rapport à celle de la voiture conventionnelle.

La valeur d’une voiture conventionnelle se trouve au niveau du *hardware*. Les autres composants des voitures sont considérés comme accessoires. Dans le monde de la voiture autonome, par contre, la valeur vient de trois sources différentes : le *hardware*, le *software* et le *content* (Morgan Stanley, 2013).

Hardware

Le matériel est ce qu’on connaît de la voiture conventionnelle : portes, châssis, vitres, sièges, etc. Dans la voiture conventionnelle, cette dimension contribue à 90% de sa valeur. Les constructeurs automobiles sont les plus grands contributeurs individuels d’éléments matériels, ils sont considérés comme le plus gros maillon de la filière. C’est pourquoi seules leurs marques sont visibles (Morgan Stanley, 2013). Les fournisseurs ne détiennent pas d’image de marque forte (Coppens & Gastel, 2003). En effet, lors de l’achat d’une voiture, peu nous importe la marque des plaquettes de freins utilisées ou encore celle de l’autoradio ; nous achetons une Audi et non une Audi équipée d’un système de freinage Bosch, par exemple. Les acteurs impliqués dans cette dimension resteront les mêmes

qu'actuellement : les fournisseurs et les constructeurs automobiles. Leur rôle sera d'assembler les matériaux de la voiture ainsi que les technologies nécessaires à la conduite autonome (KPMG & CAR, 2012 ; Morgan Stanley, 2013). De nouveaux acteurs entreranno sur le marché pour offrir le matériel nécessaire à la conduite autonome (Morgan Stanley, 2013).

Software

Les logiciels participent à la création de valeur d'une voiture conventionnelle à hauteur de 10% (Morgan Stanley, 2013). Il s'agit de systèmes qui permettent l'affichage des informations sur le tableau de bord, l'allumage des voyants, etc. Comme expliqué ci-dessus, la voiture autonome requiert un ensemble de logiciels, de programmes ainsi qu'un système d'exploitation pour contrôler l'ensemble des fonctions du véhicule et pour remplacer le conducteur (Morgan Stanley, 2013). Le *software* est la clé de la conduite robotisée (Thrun, 2010), sa participation à la création de valeur augmentera. Dans ce segment, des nouvelles entreprises (fournisseurs de système d'exploitation et entreprises de hautes technologies) entreranno parmi les constructeurs automobiles. Leur rôle sera de créer le système qui contrôle l'ensemble des fonctions du véhicule et permet la conduite autonome de celui-ci (KPMG et CAR, 2012 ; Morgan Stanley, 2013).

Content

Ce troisième élément est très peu présent dans les véhicules conventionnels et n'est créateur d'aucune valeur car il est considéré comme accessoire et n'est pas indispensable pour le fonctionnement d'une voiture (Anderson et al., 2014). Dans le *content*, ou contenu, on retrouve les lecteurs DVD, par exemple. Ceux-ci n'ont aucune valeur car le conducteur n'en a pas l'usage. Or, avec l'émergence de la voiture autonome, les conducteurs deviendront des passagers disposant de temps libre (Anderson et al., 2014). Des enquêtes auprès de consommateurs démontrent que la possibilité de lire ses mail ou de regarder un film est un argument clé dans l'achat de voiture autonome (Anderson et al., 2014). Le contenu représente tout ce qui occupera le conducteur. Il peut s'agir d'applications pour lire ses mails, regarder un film, jouer, travailler. Dans ce segment, nous retrouvons les

composantes de *l'infotainment*. De nouveaux entrants seront certainement présents dans ce domaine.

6.2. Nouveaux modèles économiques

La nouvelle structure de l'industrie automobile engendrera une modification du modèle économique de celle-ci. Après une définition du modèle économique, nous analysons les trois dimensions de la voiture autonome aux yeux de cette définition pour pouvoir développer un nouveau modèle économique.

Définition

Un modèle économique, ou *business model*, est un ensemble d'éléments qui s'emboîtent afin de créer et de livrer de la valeur aux entreprises (Johnson, Christensen & Kagerman, 2008). Deux éléments essentiels à un modèle économique sont la proposition de valeur et le mode de distribution (Durand et al., 2009 ; Lindgardt, Reeves, Stalk & Daimler, 2009).

La proposition de valeur, ou l'offre, est la manière par laquelle on créera de la valeur pour les consommateurs. Pour cela, il faut trouver son segment cible et choisir le besoin du segment que l'on souhaite remplir (Lindgardt et al., 2009). Ensuite, il faut trouver le produit qui répond à ce besoin et finalement définir la stratégie à mettre en place : ce qui sera intégré à la structure ou externalisé. Cela touche le développement technologique, les achats et la production (Fréry et al., 2011).

Le mode de distribution est la manière par laquelle l'entreprise offrira le produit aux consommateurs tout en retirant un revenu. Cela concerne les départements marketing et commercial (Fréry et al., 2011). Dans le cas de la voiture autonome, nous nous intéressons à la proposition de valeur car elle évoluera considérablement. Nous détaillons l'évolution de celle-ci dans les points suivants.

Hardware

Nous pensons que le métier des constructeurs automobiles ne changera pas fondamentalement.

Actuellement, la proposition de valeur des constructeurs automobiles est de fournir aux conducteurs un véhicule sûr, confortable, rapide, innovant et stylé tout en offrant un plaisir de conduite. Pour ce faire, ils externalisent la majorité des activités à des fournisseurs de systèmes et de pièces détachées et ne participent qu'à 30% de la création de valeur. En définitive, les constructeurs sont responsables de l'assemblage final ainsi que de la conception de leurs modèles (Coppens & Gastel, 2003). Bien que l'ensemble des fournisseurs crée plus de valeurs que les constructeurs, ces derniers gardent le pouvoir car ils détiennent une image de marque forte (Coppens & Gastel, 2003).

Software et Content

Les composantes du *software* d'un véhicule conventionnel fonctionnent indépendamment des autres, elles sont propres à des fonctions indépendantes. Il importe peu que les lignes de codes composant les logiciels soient écrites par des fournisseurs différents. La création de valeur du *software* est trop faible pour que les constructeurs investissent dans leur développement. Le *software* ne fait pas partie de la proposition de valeur des constructeurs (Morgan Stanley, 2013).

Avec les voitures autonomes, les logiciels seront interdépendants rendant risqué l'achat chez plusieurs fournisseurs. Il faut que l'ensemble des logiciels et le système d'exploitation soient écrits selon le même code, autrement dit par la même entreprise (Morgan Stanley, 2013). Si nous ajoutons la dimension du contenu aux *softwares*, leur valeur ajoutée risque d'être plus importante que celle des *hardwares*. Cette nouvelle source de revenus ne peut être ignorée par les constructeurs (Morgan Stanley, 2013). De plus, le *software* prendra une dimension primordiale dans la proposition de valeur de la voiture autonome. A défaut de vouloir une voiture performante et éprouver du plaisir lors de la conduite, les acheteurs voudront désormais une voiture équipée d'un système qui offre une conduite confortable. En effet, le conducteur devient un passager et comme tel sera plus sensible aux variations de vitesse que lorsqu'il est conducteur (Le Vine, Zolfaghari & Polak ; cité par Litman, 2015). Ils valoriseront également une voiture équipée des derniers gadgets afin de rentabiliser leur temps (KPMG & CAR, 2012).

Nouveaux modèles économiques

La modification de la proposition de valeur ainsi que l'état actuel du développement des technologies de la voiture autonome de certains constructeurs automobiles ouvre la possibilité à plusieurs modèles économiques.

La nouvelle proposition de valeur sera d'offrir une voiture sûre, confortable, rapide, innovante, stylée, équipée des dernières technologies existantes et promettant une conduite confortable et douce. Les constructeurs choisiront le degré d'intégration verticale qu'ils poursuivront pour offrir cette proposition de valeur. L'intégration verticale « désigne l'extension d'une organisation vers des activités adjacentes de sa filière, que ce soit vers l'amont ou vers l'aval » (Fréry et al., 2011, p. 298).

A une extrémité, se trouvent les constructeurs qui décident d'internaliser l'ensemble de la filière. Ceux susceptibles de choisir cette direction sont les constructeurs avancés dans le domaine de la conduite autonome, Mercedes et Audi par exemple (KPMG & CAR, 2012).

A l'autre extrémité, nous avons les constructeurs qui dessineront, assembleront et vendront les véhicules sous leur nom mais tout le reste des activités sera externalisé. Les constructeurs susceptibles de suivre cette direction sont ceux qui n'ont pas avancé dans le développement de ces technologies d'autonomisation (KPMG & CAR, 2012 ; Morgan Stanley, 2013). Grâce à ce deuxième modèle économique, les nouveaux entrants feront leur entrée en tant que fournisseurs de systèmes autonomes.

7. Avantages attendus

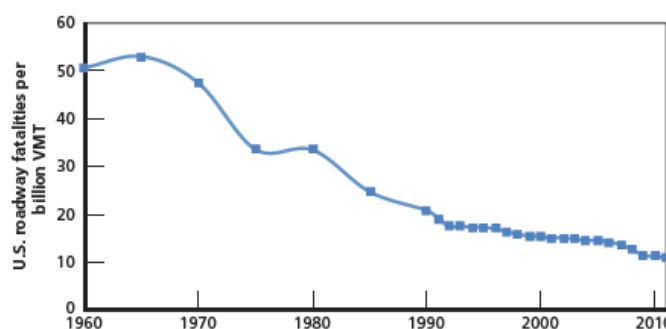
Le comportement de la voiture autonome diffère de celui d'un véhicule piloté par un être humain. Elle sera programmée pour ne pas enfreindre la réglementation routière, ne conduira pas sous influence d'alcool et optimisera sa conduite pour diminuer les effets de congestion et pour réduire la consommation de carburant (Fagnant & Kockelman, 2014). Outre toutes ces avancées, la voiture autonome offre encore de nombreux avantages dont certains seront détaillés ci-après.

La voiture autonome n'est encore qu'à l'état de projet, c'est pourquoi il est compliqué d'anticiper l'ampleur de ses avantages attendus. De plus, la concrétisation de ceux-ci dépend du taux de pénétration de cette innovation sur le marché car il existe des effets de réseau. Pour finir, les bienfaits de la voiture autonome s'influencent et se renforcent (DiClemente et al., 2014 ; Litman, 2015).

7.1. Diminution des accidents

Comme noté plus haut, chaque année près de 30 000 personnes sont tuées sur les routes américaines. Le Bureau des statistiques du transport (BTS) révèle que entre 1990 et 2011, le nombre annuel d'accidents par million de VMT parcourus baisse de 2,3% et que le nombre de blessés diminue de 3,1%. Sur la figure 3, nous observons que le taux de mortalité se réduit significativement. Cette diminution correspond à l'arrivée de différentes technologies de sécurité : les airbags en 1984 et 1998, le système ABS en 1985, le système d'alerte anticollision en 2000 (Anderson et al., 2014). Cette évolution des chiffres prouve qu'une amélioration des technologies a un réel impact sur le nombre de tués par l'automobile. L'*Insurance Institute for Highway Safety* estime que si l'ensemble des voitures était équipé d'un système d'alerte anticollision et de départ de bande (voitures de niveau 1), 33% des accidents seraient déjà évités (Anderson et al., 2014).

Evolution du taux de mortalité causée par les accidents routiers



Source : Anderson et al (2014, p. 14).

Figure 3 – Ce graphique indique une diminution de la mortalité causée par les accidents routiers aux États-Unis au fil du temps.

Une large majorité des décès est causée par des erreurs humaines. Elles sont causées par un manque de connaissances, le non respect du code de la route, la distraction ou l'incapacité du conducteur à exercer sa tâche (conduite sous influence ou fatigue) (Morgan Stanley, 2013). La voiture autonome n'est, par définition, pas contrôlée par un humain, les accidents résultant de ce type d'erreurs seront évités (Lutin et al., 2013). KPMG et CAR (2012) estiment que, lors de la dernière phase d'implémentation (voir la section *Diffusion de la voiture autonome*), la voiture autonome constituera un véhicule qui ne peut plus s'accidenter lors d'une utilisation normale du véhicule. Cependant, il est possible que des failles dans les systèmes adviennent, résultant en la création d'une nouvelle catégorie d'accidents (KPMG & CAR, 2012).

La diminution des accidents est un avantage pour les acheteurs de l'innovation car les coûts d'opération diminueront, mais également pour l'ensemble de la société car les accidents représentent un coût majeur pour celle-ci.

7.2. Diminution de la pollution

La baisse de la consommation de carburant et l'utilisation de carburants alternatifs moins polluants ont un impact positif sur la pollution globale et locale.

Baisse de la consommation de carburant

La diminution de la consommation de carburant sera réalisée grâce à l'optimisation de la conduite des voitures de niveaux 2 et 3. En effet, la voiture autonome avec sa communication de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2I) bénéficiera d'une meilleure compréhension des conditions de route afin d'optimiser sa conduite (Eckart & Vairavamoorthy, 2013). Cette optimisation fait référence à l'*eco-driving*, une manière de conduire qui utilise moins de carburant. Elle consiste à passer au rapport supérieur plus rapidement pour éviter au moteur de tourner trop vite, maintenir une vitesse stable sans accélérer et freiner sans arrêt, anticiper le comportement des autres utilisateurs, accélérer et freiner doucement et non brutalement (Berry, 2010, p. 24). La conduite des voitures autonomes sera plus fluide : elles freineront et accéléreront moins (Sartre, 2012). Cela entraînera une baisse de la vitesse de pointe (diminution de la

consommation de carburant) mais une hausse de la vitesse moyenne (réduction du temps de parcours) (Folsom ; cité par Anderson et al., 2014). Il est estimé qu'une conduite optimisée diminuera la consommation de carburant de 4% à 10% (National Research Council ; cité par Anderson et al., 2014).

De plus, comme nous l'expliquons plus loin, la voiture autonome réduira la congestion, ce qui entraînera une réduction totale de la consommation de carburant car le temps de trajet sera plus court. Cette diminution de la congestion réduira également les situations de *start & stop* diminuant ainsi les émissions de gaz à effet de serre et la consommation de carburant. En effet, des recherches montrent que celles-ci augmentent rapidement quand la vitesse descend en dessous de 30 km/h créant des situations de freinages et d'accélération intempestives (Barth & Boriboonsomsin ; cité par Anderson et al., 2014).

Une voiture plus lourde ou plus large nécessite plus de puissance qu'une voiture légère ou fine car la résistance au roulement et à l'air sont plus fortes. Un des avantages attendus de la voiture autonome est la réduction significative des accidents de la route (Anderson et al., 2014). Les constructeurs enlèveront tous les équipements nécessaires à la protection des passagers : airbags, habitacle, etc., cela réduira nettement le poids du véhicule (Bullis, 2011 ; Eckart & Vairavamoorthy, 2013). Par conséquent, les voitures auront un besoin en puissance moindre, ce qui diminuera la consommation de carburant. Cela ne sera réalisé que si toutes les voitures sont de niveau 3 ou 4, c'est-à-dire dans plusieurs dizaines d'années.

L'infrastructure communiquera avec la voiture pour lui indiquer une place de parking disponible (Brown, Gonder & Repac, 2013). Cela abaissera le nombre de voitures qui tournent en rond dans le but de trouver une place. De plus, la diminution de l'espace de sécurité entre les véhicules (voir point *Diminution de la congestion*) réduit la résistance au vent et par conséquent la consommation de carburant (Bullis, 2011 ; Sartre, 2012). Pour terminer, la demande de modèles puissants équipés de moteurs à hautes performances ralentira car le conducteur ne conduira plus et, par conséquent, ne ressentira aucun plaisir à être à bord d'une voiture puissante (Eckart & Vairavamoorthy, 2013).

Aide au développement de la voiture électrique

Les voitures autonomes aideront également au développement et à la diffusion de la voiture électrique (Brown et al., 2013). Le problème actuel des voitures électriques est le manque d'autonomie de la batterie qui ne permet de parcourir que des courtes distances. De plus, elles mettent longtemps à se charger, sont lourdes et coûteuses (Anderson et al., 2014). Si les voitures de niveaux 3 et 4 s'allègent, une batterie plus petite et moins lourde parcourra le même nombre de kilomètres. La diminution de la congestion réduira également la taille des batteries affaiblissant ainsi le coût pour les consommateurs. Leur production et leur destruction auront également un impact environnemental moindre (Hawkins et al ; cité par Anderson et al., 2014). De plus, les voitures autonomes se rechargeront plus souvent car elles déposeront le passager à sa destination et ensuite, en se servant de la V2I, détermineront la station de charge libre la plus proche et iront se brancher jusqu'au prochain appel du propriétaire (Anderson et al., 2014).

7.3. Diminution de la congestion

L'introduction de la voiture autonome améliorera le trafic de plusieurs manières.

Amélioration de la capacité du réseau routier

La communication rapide entre les véhicules grâce à la V2V augmentera la capacité routière dans les dimensions longitudinale et latérale. Actuellement, les véhicules qui roulent sur l'autoroute à du 100 km/h n'utilisent que 11% de la longueur de la capacité de la route. L'espace restant représente l'espace nécessaire au conducteur pour bénéficier d'une conduite confortable et se sentir en sécurité (Shladover ; cité par Smith, 2012). Grâce au CACC et à son utilisation plus précise du frein et de l'accélérateur, l'espace nécessaire à la sécurité diminuera, pour laisser la place à un plus grand nombre de véhicules (Sartre, 2012). Dans le même ordre d'idées, une bande de circulation mesure 3,5 mètres de large or, même les plus grosses voitures ne dépassent pas 1,8 mètre de large. Cette marge de sécurité existe pour protéger des imprécisions de conduite ainsi que pour permettre le passage des bus et des camions (2,74 mètres) (Shladover ; cité par Smith, 2012). Une plus grande précision de

l'utilisation du volant par la voiture autonome autorisera la réduction de la largeur des bandes et, par conséquent, l'augmentation de leur nombre (Smith, 2012 ; Litman, 2015).

Débit des Véhicules

Il existe deux types de congestion : récurrente et non-récurrente. Nous analysons ici la congestion récurrente. Elle est le fruit d'un modèle répandu où le nombre de véhicules qui désirent emprunter une route au même moment excède la capacité de la route (Anderson et al., 2014). Le débit des véhicules est le nombre de véhicules qui circulent sur un tronçon de route délimité en une heure (FHWA, 2013).

Les véhicules autonomes avec l'utilisation du CACC augmenteront ce débit. Lors de situations de circulation normales, la capacité de la voiture autonome à surveiller le trafic, à anticiper le comportement des véhicules précédents et à réagir plus rapidement par des freinages et des accélérations adéquats permettent à ces voitures de naviguer plus rapidement avec un espace de sécurité réduit (Anderson et al., 2014). Shladover estime que l'utilisation d'un CACC dans 10%, 50% et 90% des véhicules entraîne une augmentation du débit de 1%, 21% et 80% respectivement (Fagnant & Kockelman, 2013).

Sorensen et al. (cité par Anderson et al., 2014) indiquent que lorsque le nombre de véhicules sur une route est moindre, la vitesse est élevée et le débit est faible. Lorsque le nombre de véhicules augmente, la vitesse diminue et le débit augmente. Lorsque l'addition de véhicules est trop élevée, durant les heures de pointe par exemple, nous observons des perturbations qui causent la congestion. Ces perturbations sont des changements de bande inattendus ou des freinages et accélérations excessifs (Brown et al., 2013). Cela entraîne des embouteillages et, par conséquent, une diminution du débit (Sorensen et al. ; cité par Anderson et al., 2014). La voiture autonome équipée de la communication V2V aura la capacité de freiner et d'accélérer plus finement et d'anticiper le comportement des autres véhicules (changements de bande, ralentissement, etc.) afin de réduire ces situations d'embouteillages et, autrement dit, de réduire la congestion (Anderson et al., 2014).

Congestion causée par les accidents

La congestion non récurrente est le résultat d'un événement isolé (accident, travaux, événement sportif, etc.) qui diminue la capacité routière ou augmente la demande (Anderson et al., 2014). Selon la *Federal Highway Administration* (2013), les accidents de la route sont la cause de 25% de la congestion totale. La voiture autonome a pour ambition de supprimer les accidents causés par le facteur humain, elle règlera une large partie du problème de congestion.

Autres

Grâce à la communication V2I, les systèmes autonomes connaîtront en temps réel les conditions de circulation. Cela leur permettra de calculer un trajet efficace qui évite les zones congestionnées, mais aussi calcule un trajet esquivant les zones où la circulation est déjà dense afin que la congestion ne se forme pas (KPMG & CAR, 2012).

La communication V2V permet une coordination des comportements des véhicules, elle leur donne la possibilité d'anticiper la situation des carrefours à venir afin d'éviter de devoir s'arrêter (DiClemente et al., 2014 ; Litman, 2015). Des études démontrent que grâce à la communication V2V, les véhicules sont capables de coordonner leur comportement aux intersections sans qu'une autorité centrale ne soit nécessaire. La vitesse, la provenance, l'intention de tourner de l'ensemble des véhicules sont communiquées. Avec ces informations, il leur est possible de planifier leur comportement afin d'éviter un arrêt (Alonso, Milanés, Pérez, Onieva, Gonzalès & de Pedro, 2011). Par exemple, la voiture 1 approche un carrefour et détecte qu'un autre véhicule est également en approche et arrivera par la droite. Les deux voitures communiquent entre elles pour que l'une ralentisse et que l'autre accélère, permettant aux deux de ne pas s'arrêter. De plus, si les véhicules réagissent plus rapidement et nécessitent un espace plus étroit entre eux, un plus grand nombre de véhicules franchiront les feux verts. Cela augmentera le débit aux intersections (Fagnant & Kockelman, 2013). Une étude démontre aussi que lorsque le taux de pénétration de la V2V sera de 60%, le temps d'attente aux feux de signalisation se réduira également de 60% (Guler, Menendez & Meier, 2014).

Pour terminer, la congestion urbaine est, entre autres, causée par des véhicules qui tournent en rond pour trouver une place de parking. Grâce à la V2I, les véhicules iront directement à un emplacement libre qui leur aura été attribué (Morgan Stanley, 2013).

7.4. Amélioration de la productivité

La conduite d'un véhicule est une source de stress et de fatigue car le conducteur doit rester concentré et agir en fonction du comportement des autres véhicules (Litman, 2015). Le plus gros gain de productivité viendra du fait qu'ils n'auront plus à souffrir du stress qu'induit la conduite d'un véhicule (Marinik, Bishop, Fitchett, Morgan, Trimble & Blanco, 2014). De plus, les conducteurs américains passent en moyenne 75 milliards d'heures en voiture (Morgan Stanley, 2013). Grâce à la voiture autonome, ce temps sera mieux alloué car les passagers utiliseront le temps de trajet pour travailler, se divertir ou se reposer. Cette modification de l'affectation du temps améliorera leur qualité de vie et leurs performances (Lutin et al., 2013).

Ce gain de productivité pourrait entraîner une augmentation de l'utilisation des véhicules personnels. En effet, le fait de ne plus perdre son temps en voiture constitue une motivation à délaisser les transports en commun. Par conséquent, le nombre de véhicules sur les routes risque d'augmenter.

7.5. Amélioration de l'accès à la mobilité

La voiture autonome touche un plus large public que la voiture conventionnelle. En effet, certaines personnes ne sont pas capables ou n'ont pas le droit de conduire un véhicule. C'est le cas des jeunes âgés de moins de 16 ans, des personnes handicapées mentales ou physiques, des personnes trop âgées ou encore des individus sous influence d'alcool ou de drogue (Lutin et al., 2013 ; Schonberger & Gutmann, 2013 ; Anderson et al., 2014). Dans le cas des personnes âgées ou handicapées, l'inaccessibilité de la conduite produit une réduction de la qualité de vie et de la santé ainsi qu'une isolation sociale (Lutin et al., 2013). La voiture autonome améliorera la mobilité des ces catégories d'individus.

L'accès à la « conduite » de la voiture autonome pour ses catégories d'individus entraînera cependant une augmentation du trafic routier.

7.6. Effet rebond

La voiture autonome améliorera la productivité des utilisateurs, atténuera la congestion ainsi que la pollution via une diminution de la consommation de carburant, améliorera la mobilité de certaines catégories d'individus et réduira le nombre d'accidents.

La réalisation de ces avantages entraînera une baisse du coût de trajet. Cela risque d'entraîner par la suite une augmentation des VMT car, comme nous l'avons expliqué précédemment, une diminution du prix engendre une augmentation de la demande. C'est ce qu'on appelle l'effet rebond (Smith, 2012). L'impact de cet effet rebond dépend de l'ampleur de la réalisation des avantages ; or, à ce stade, nous n'avons aucune certitude à ce sujet (Eckart & Vairavamoorthy, 2013). Bien que le nombre de VMT risque d'augmenter, il n'a pas été démontré que cela aura un impact négatif sur la congestion ou la pollution. Il se peut que les changements apportés à ces deux dimensions soient tels que l'effet rebond n'aura qu'un impact mineur (Anderson et al., 2014).

8. Obstacles à l'adoption

Le développement de la voiture autonome et sa commercialisation soulèvent de nombreuses problématiques qui constituent des obstacles à sa diffusion. Nous en développons certains dans cette partie.

8.1. Acceptation du consommateur

Le simple plaisir de conduire sa voiture n'existera plus, cela constitue un obstacle à l'acceptation de l'innovation (KPMG, 2013 ; Litman, 2015). Au delà de ce simple aspect, il en existe d'autres plus complexes, nous les détaillons ci-dessous.

Confiance en l'innovation

Monter dans une voiture autonome et faire entièrement confiance à un robot pose problème à un nombre majeur d'individus. Des études et des enquêtes démontrent que l'avis est partagé quant à la problématique de confier sa vie à une machine (Morgan Stanley, 2013).

La conduite d'une voiture autonome requiert le niveau de confiance adéquat. Ce niveau de confiance doit être calibré en fonction du degré d'autonomisation de la voiture. Un excès de confiance, c'est-à-dire penser que la voiture peut faire plus que ce qu'elle est réellement capable de faire, entraîne une sur-utilisation du mode autonome : utilisation de celui-ci dans des conditions inappropriées. La méfiance quant à elle, entraîne une sous-utilisation : le mode autonome ne sera pas activé dans des situations adéquates à son utilisation. La confiance calibrée requiert une connaissance et une compréhension en profondeur du fonctionnement des technologies utilisées par cette innovation (Marinik et al., 2014). Un mauvais usage de celle-ci pendant les premières phases d'adoption nuit à l'obtention des avantages attendus de cette innovation et, par conséquent, à l'acceptation des consommateurs.

Sécurité

La sécurité est une préoccupation née avec le développement de cette voiture autonome. Comme toute machine connectée à un réseau, le système interne du véhicule peut être piraté.

Pour pouvoir communiquer entre elles et avec l'infrastructure et effectuer des mises à jour à distance de leurs logiciels, les voitures seront connectées à internet. Cette connexion crée la possibilité que leur système soit attaqué par des virus qui prendraient leur contrôle (Fagnant & Kockelman, 2013 ; Litman, 2015). Un deuxième type de risque vient de l'utilisateur qui peut entrer dans le système de son propre véhicule et le modifier afin d'outrepasser certaines programmations pour en améliorer la performance (Anderson et al., 2014). Pour illustrer cela, nous prenons l'exemple des puces que l'on place sur les moteurs pour en augmenter la puissance. Dans les deux cas, les modifications apportées à la voiture

entraîneront un comportement nuisible à l'obtention de ses avantages qui conduira à une détérioration de l'image de cette innovation aux yeux des consommateurs.

Vie Privée

L'utilisation de la voiture autonome pose un problème de vie privée. La voiture autonome enregistre de nombreuses informations sur l'ensemble de ses déplacements (Glancy, 2012 ; KPMG & CAR, 2012). Il faut régler la question de propriété de ces informations. Il semble logique que les informations concernant les conditions de l'accident appartiennent au constructeur. En effet, en tant que responsable d'un accident (voir point *Responsabilité*), il doit analyser ces informations pour en comprendre les causes dans le but d'améliorer son véhicule. Cependant, dans le cas où une voiture semi-autonome provoque un accident lorsqu'elle est contrôlée par son conducteur, celui-ci n'a pas envie de voir les enregistrements de ses propres actions être utilisés contre lui-même. Ces informations concernent la vie privée du conducteur et il est possible que celui-ci souhaite leur confidentialité. De plus, quiconque possède ces informations ou se les procure en entrant dans le système d'un véhicule peut suivre l'utilisateur à la trace et utiliser ces informations à son insu à des fins commerciales ou judiciaires, par exemple (Fagnant & Kockelman, 2013).

Pour atteindre une réalisation optimale des bienfaits de cette innovation, il faut que nombre de voitures autonomes sur les routes soit considérable. Si nous n'arrivons pas à résoudre les problèmes liés à l'acceptation de l'innovation, le taux de pénétration ne sera jamais optimal.

8.2. Responsabilité

La question de la responsabilité est un enjeu à régler avant la mise en circulation de ces véhicules. En effet, lorsqu'un accident survient avec un véhicule conventionnel, le conducteur qui a commis l'erreur est responsable de l'accident. Lors de l'utilisation d'une voiture en mode semi-autonome ou autonome, qui est le responsable ?

La législation qui gouverne les accidents de la route est un mélange entre la loi de la responsabilité délictuelle et celle de la responsabilité financière. Cette loi requiert que les

conducteurs souscrivent une police d'assurance (Kalra et al., 2009 ; Anderson et al., 2014). Dans la majorité des états, le minimum requis est d'être détenteur d'une police d'assurance qui couvre les dommages physiques et matériels causés aux victimes d'accidents mais pas ceux du détenteur de cette police d'assurance. Si celui-ci souhaite couvrir les frais sur son propre véhicule en cas de collision, de vols, etc. il doit souscrire d'autres polices d'assurance, ce qui augmente le prix total à payer. De plus, le prix de ces assurances est lié à l'historique des conducteurs : au moins il est impliqué dans des accidents, au moins le coût de cette assurance sera élevé (Angloinfo, 2015).

Actuellement, le conducteur est responsable car il possède le contrôle du véhicule. Les principes de la responsabilité délictuelle s'appliquent et les compagnies d'assurance dédommagent les victimes. Dans le futur, la responsabilité du conducteur sera proportionnelle au niveau d'autonomisation du véhicule en cause dans l'accident. Dans le cas d'une voiture autonome, la responsabilité reviendra à la voiture car elle détient le contrôle des opérations. Une machine ne pouvant pas être tenue pour responsable, le constructeur le deviendra (Kalra et al., 2009 ; Gurney, 2013 ; Anderson et al., 2014).

La responsabilité s'éloignera doucement du conducteur pour devenir celle du constructeur. Les principes de responsabilité du conducteur ne poseront pas problème pour la diffusion de l'innovation, nous arrêterons simplement de les utiliser. De plus, il est attendu de la voiture autonome qu'elle réduise le nombre d'accidents et par conséquent les coûts totaux associés à ceux-ci. La baisse du nombre d'accidents diminuera le coût des assurances car l'historique des conducteurs sera meilleur et que la probabilité d'occurrence d'accidents sera moindre. Une baisse du montant à payer par les consommateurs sera un argument à l'achat de cette innovation (Kalra et al., 2009).

La responsabilité du constructeur, quant à elle, peut retarder la mise en vente de certaines technologies qui sont bénéfiques pour la société. Cela est problématique pour des technologies qui offrent des avantages significatifs dans certaines situations et ne causent pas de tort additionnel dans le cas contraire. Prenons l'exemple d'un système de freinage automatique. Le système est efficace dans 80% des cas et permet d'éviter de nombreuses collisions. Pour les 20% restant, la technologie est incapable d'empêcher ces accidents. Ils

surviennent de la même manière que si la voiture n'était pas équipée de cette technologie (Kalra et al., 2009 ; Gurney, 2013).

Il est également possible que les constructeurs se prémunissent de cette mise en cause de leur responsabilité en augmentant le prix de vente afin de couvrir les frais éventuels en cas de poursuite. Une augmentation du prix peut dissuader les acheteurs et ralentir l'implémentation de la voiture autonome (Kalra et al., 2009).

Pour éluder que cette mise en cause de la responsabilité du constructeur ne constitue un frein à la diffusion socialement bénéfique de cette innovation, il faut modifier le système de responsabilité afin qu'il soit moins contraignant pour ces derniers. Cette modification du système de la responsabilité est la tâche des pouvoirs publics.

8.3. Infrastructure

L'utilisation des technologies de la voiture autonome est moins dépendante de l'infrastructure que ce qui avait été pensé par le passé (Morgan Stanley, 2013). Cependant, il faut procéder à un certain niveau d'investissements pour la mise en circulation de ces voitures.

L'implémentation de la voiture autonome sur le réseau routier requiert deux phases d'investissements en infrastructure pour permettre la communication V2I. Le premier investissement sera nécessaire pour la mise en circulation des voitures autonomes de niveau 3. Il faut que l'ensemble du trafic routier soit équipé de panneaux de signalisation, les routes bien démarquées, la cartographie GPS de l'ensemble du réseau effectuée et mise à jour fréquemment (Morgan Stanley, 2013). Le second round d'investissements doit avoir lieu avant la mise en circulation des véhicules de niveau 4. Aux premières modifications réalisées sur le réseau routier pour la mise en circulation des véhicules de niveau 3, celui-ci doit maintenant être équipé d'émetteurs et de récepteurs afin de garder le contact avec les véhicules. Pour rappel, l'infrastructure communique avec les voitures pour leur faire savoir où sont les places de parking disponibles, la situation de congestion des routes pour permettre le meilleur choix du trajet ou encore l'état des routes nécessitant une modification du style de conduite : sol gelé par exemple. De plus, la voiture autonome dépend

énormément des réseaux de télécommunication. Cela implique que ces réseaux seront renforcés pour répondre à cette augmentation de la demande (KPMG & CAR, 2012 ; Morgan Stanley, 2013).

Les différentes adaptations sont des prérequis à la mise en disponibilité de la voiture autonome. Un manquement à ces prérequis constitue un obstacle à l'adoption de la voiture autonome. La réalisation de ces modifications de l'infrastructure est sous la responsabilité du gouvernement et des fournisseurs de télécommunication. Nous détaillerons ceci dans la dernière partie de notre travail.

8.4. Coût - Technologie

Coût

Le LIDAR dont la Google Car est équipé coûte 70 000\$ (KPMG & CAR, 2012). A cela, ajoutons le prix des autres capteurs, *softwares*, etc. Dellenback (cité par Fagnant & Kockelman, 2013) estime que le coût de ces technologies pourrait baisser entre 50 000\$ et 25 000\$ par voiture une fois la consommation de masse atteinte. Selon Chengalva et al. (cité par Fagnant & Kockelman, 2013), il existe une autre approche qui utilise des technologies moins coûteuses qui pourrait être commercialisée à moins de 20 000\$. Cependant, cela reste trop élevé pour les Américains dont le budget fluctue actuellement entre 16 000\$ et 27 000\$ pour acquérir une voiture neuve (Fagnant & Kockelman, 2013).

Selon une enquête récente de JD Power and Associates (2012), il existe des *early adopters* disposés à se procurer cette innovation. En effet, 37% des personnes interrogées sont favorables à l'achat d'une voiture autonome. Cependant, ce pourcentage baisse de 17% lors de l'annonce d'une augmentation de prix de 3000\$. Cette enquête démontre que même si des individus convaincus par cette technologie existent, ils ne sont pas prêts à y mettre le prix (JD Power, 2012).

Technologie

Il existe de nombreux obstacles à l'adoption étendue de la voiture autonome. Le problème qu'il importe de gérer, avant toute autre chose, est celui de la technologie. Son

développement est très avancé et certains pensent que la voiture autonome est prête à être introduite sur le marché. Cependant, il existe encore quelques points à régler. Comme expliqué précédemment, les radars et capteurs sont inopérants sous la neige, la pluie et le brouillard ou encore sur les routes mal définies (chemins de terre, par exemple) (Sivak & Schoettle, 2015). Un autre point à améliorer concerne la transmission du contrôle du système vers l'humain lors de l'utilisation d'une voiture semi-autonome. La voiture doit contrôler le niveau d'attention du conducteur pour définir le degré d'alerte nécessaire afin de le notifier d'une reprise de contrôle. Finalement, pour une plus large efficacité des communications V2I et V2V, il faut déterminer le réseau le plus approprié : internet, ondes radio, 3G, 4G, etc. (DiClemente et al., 2014).

Selon les constructeurs et les distributeurs automobiles le plus gros défi technologique n'est pas de régler les problèmes techniques mais d'arriver à faire baisser suffisamment le prix de ces technologies pour atteindre la consommation de masse (Morgan Stanley, 2013 ; Litman, 2015). Les gouvernements aideront les constructeurs à faire baisser les prix.

8.5. Taux de renouvellement du parc automobile

L'âge moyen des véhicules aux États-Unis est de 12 ans (Sivak & Schoettle, 2015). Cela implique que leur taux de renouvellement dans ce pays est très lent. Il faut plus ou moins 20 ans pour que le parc automobile soit renouvelé au moins une fois (Morgan Stanley, 2013). Si tous les véhicules produits après 2020 sont autonomes, il faudra 10 ans pour que 50% des voitures en circulation soient de ce type (O'Toole, 2014). Tant que le taux de pénétration n'est pas assez élevé, les résultats de la mise en circulation des voitures autonomes seront incertains et cela réduira leur fiabilité, la sécurité et, par conséquent, l'acceptation des consommateurs (Fagnant & Kockelman, 2013 ; Litman, 2015).

Les gouvernements participeront à l'accélération de ce taux de renouvellement.

8.6. Morale et éthique

Le développement de cette technologie suscite plusieurs préoccupations du point de vue moral et éthique.

Premièrement, va-t-on programmer une voiture capable de réagir différemment à toutes les situations de la vie auxquelles nous serions confrontés ? Par exemple, dépasser la limite de vitesse lorsque nous transportons un blessé vers les urgences. Cela nécessite de mettre en place des règles précises pour programmer la voiture à se comporter selon différents protocoles dans certains cas (Morgan Stanley, 2013).

Deuxièmement, la voiture autonome est perçue comme une technologie apportant des avantages socio-économiques majeurs mais elle aura un impact négatif en terme d'emplois. La conduite de véhicules est une source de revenus conséquente. Les chauffeurs de taxis ou les conducteurs de poids lourds sont susceptibles de perdre leur emploi (Morgan Stanley, 2013; Schonberger & Gutmann, 2013 ; Litman, 2015). Des recherches estiment que cette innovation coûtera l'emploi à 233 000 conducteurs de taxis et 1 701 500 chauffeurs de camions (DiClemente et al., 2014).

Troisièmement, la voiture autonome entre en concurrence avec les transports publics (Litman, 2015). Cette innovation risque de diminuer la demande pour les transports publics. Actuellement, un des avantages des transports en commun est la libre occupation de son temps. Or la voiture autonome offre encore mieux : faire ce que l'on souhaite mais tranquille et seul dans sa voiture (KPMG & CAR, 2012).

9. Diffusion de la voiture autonome

Dans cette partie, nous nous basons sur des projections faites dans différents rapports ainsi que sur un modèle théorique pour établir le processus de diffusion de la voiture autonome. Ce processus est une prédiction des phases par lesquelles la société passera. Nous ne possédons pas les connaissances pour établir le nombre d'années nécessaires.

La diffusion de la voiture autonome ne se fera que progressivement. Comme expliqué plus haut, il existe plusieurs problématiques liées à son implémentation. Avant de commercialiser cette innovation de rupture (voiture de niveau 3 et 4), il est impératif de les résoudre. Or, leur résolution nécessite du temps. Ce temps sera utilisé pour pousser doucement les utilisateurs de la voiture conventionnelle vers la voiture autonome par

l'augmentation graduelle du degré de capacité et d'indépendance des voitures à travers le temps (KPMG & CAR, 2012 ; Morgan Stanley, 2013 ; Litman, 2015). Cela permettra aux consommateurs d'être prêts à recevoir cette innovation lorsqu'elle pourra être commercialisée.

Phase 1

La première phase a débuté il y a quelques années avec l'apparition des véhicules équipés de systèmes d'aide à la conduite. Durant cette phase, les technologies servent de support et de contrôle au conducteur afin d'éviter les accidents. Ces systèmes sont disponibles sur le marché pour les véhicules haut de gamme et sur quelques milieux de gamme. Les coûts sont en baisse et les échos de ces technologies sont positifs. Il se peut que ces technologies aient atteint la consommation de masse d'ici 2016 (Morgan Stanley, 2013). Lors de cette première phase, les voitures des niveaux 0 et 1 seront commercialisées.

Phase 2

Nous sommes entrés dans cette phase depuis fin 2014/début 2015 avec l'entrée sur le marché des Mercedes Benz Classe S et Classe E (Mercedes Benz, 2015) et de la nouvelle Volkswagen Passat (Passat, 2015). Dans cette deuxième phase, les technologies de la voiture autonome sont capables de se substituer aux conducteurs dans certaines conditions de circulation afin de les soulager (NHTSA, 2013, p. 4). Celui-ci reste l'opérateur du véhicule mais il cède le contrôle de quelques tâches à la voiture lors de certaines conditions limitées : dans les embouteillages ou pour se garer par exemple (Morgan Stanley, 2013). La voiture partiellement autonome de niveau 2 partagera la route avec les voitures des niveaux inférieurs.

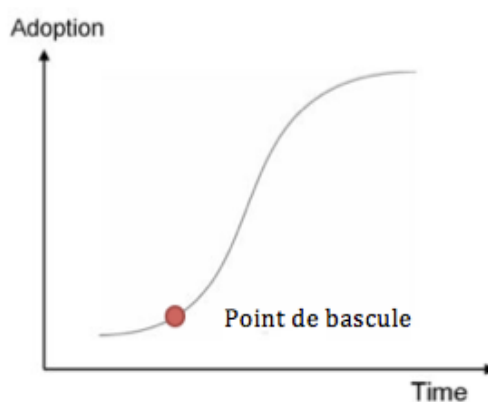
La deuxième phase se prolongera jusqu'à ce que les freins et les obstacles à la diffusion de la voiture autonome (niveau 3) aient disparu. Les constructeurs augmenteront les capacités d'autonomisation de ces véhicules graduellement pour tendre doucement vers la voiture autonome et ainsi familiariser les consommateurs avec cette innovation de rupture (KPMG & CAR, 2012 ; Morgan Stanley, 2013).

Phase 3

Durant cette troisième phase, l'innovation de rupture sera commercialisée. Pour expliquer la diffusion de cette innovation, nous utilisons un modèle théorique.

La diffusion d'une innovation se fait selon la « courbe en S » introduite par Everett Rogers (1962) représentée sur la figure 4 (Hanley, 2009).

Diffusion de l'innovation



Source : Hanley (2009).

Figure 4 – « Courbe en S » représentant le taux d'adoption d'une innovation à travers le temps.

Les premiers à se procurer l'innovation sont les *early adopters*. Ils représentent plus ou moins 10% des consommateurs. Dans un premier temps, la communication s'oriente vers ce type de consommateurs car ils sont considérés comme des leaders d'opinion (Moore ; cité par Investaura, n.d.). Il est essentiel que ces *early adopters* se fassent une bonne opinion du produit car ils constituent la clé pour convaincre le reste des consommateurs. Une fois qu'une large masse d'utilisateurs précoces s'est développée, on arrive au point de bascule (point rouge représenté sur le graphe). Le point de bascule est le point à partir duquel la demande s'intensifie et s'étend au reste des consommateurs. A partir de celui-ci, la pénétration de l'innovation augmente plus rapidement. Ce phénomène est représenté par une pente plus grande après le point de bascule. Finalement, la courbe s'aplatit et les derniers se procurent l'innovation (Fréry et al., 2011).

Une fois les freins supprimés, les *early adopters* acquerront les voitures des niveaux 3 et 4. Ils expérimenteront alors une conduite réellement autonome en toutes circonstances. Une innovation doit être adoptée rapidement et largement par les consommateurs pour que les frais de recherche et développement soient amortis (Fréry et al., 2011). Autrement dit, la période où seuls les utilisateurs précoces possèdent la voiture autonome sera la plus courte possible. Pour cela, les consommateurs doivent être prêts à se procurer cette innovation. Les échos positifs des *early adopters* joueront un rôle dans cette acceptation mais cela risque de ne pas suffire. Dans la dernière partie de notre travail, nous expliquons une manière d'accélérer cette acceptation.

Il est cependant probable que l'utilisation de masse arrive après plusieurs décennies malgré que tout soit mis en place pour une diffusion rapide. Cela est dû, d'une part, au taux de renouvellement très lent de l'automobile aux États-Unis. Et d'autre part, parce que, historiquement, les nouveautés mettent du temps à atteindre un taux de pénétration important. Prenons l'exemple des airbags : 25 ans pour atteindre 100% de pénétration, de la boîte automatique : 50 ans pour 90% de pénétration et enfin de la voiture hybride : 25 ans pour 4% de pénétration (Cobb ; cité par Litman, 2012).

Phase 4

La dernière phase est marquée par un taux de pénétration de la voiture autonome de 100%. Cette phase nécessite des investissements majeurs en infrastructure pour permettre la communication entre la voiture et l'infrastructure (V2I). Nous vivrons dans une ville où il sera normal de voir des voitures se déplacer sans personne à leur bord. Certains pensent même que cette société verra naître un nouveau mode de consommation : la voiture ne sera plus un bien de consommation mais bien un service sur demande (Fagnant & Kockelman, 2014).

Les entreprises de location de voiture à courte durée, autrement dit les sociétés de *car-sharing* telles que Car2Go et Zipcar se sont développées rapidement ces dernières années. Cependant, il existe des barrières à un développement plus étendu que la voiture autonome supprimera. En effet, nous commanderons une voiture via internet ou une application comme les taxis sur demande et nous n'aurons plus besoin d'effectuer de longues distances

pour en trouver une, celle-ci viendra à nous. De plus, elles se placeront d'elles-mêmes là où la demande est en général plus élevée (Fagnant & Kockelman, 2014).

Les voitures sont utilisées en moyenne 4% de leur vie. Cela implique, un gaspillage des ressources car les voitures sont construites pour être inutilisées 96% de leur durée de vie. C'est également un gaspillage de territoire car ces voitures non utilisées pendant la majorité de leur vie nécessitent des emplacements de parking. Ce changement de mode de consommation impliquerait une augmentation de son utilisation. Il en résulterait une diminution des espaces de stationnements requis et, par conséquent, une meilleure utilisation de l'espace ainsi qu'une diminution du nombre de véhicules fabriqués (Thrun, 2010).

Nous atteindrons cette phase utopique mais pas sans un travail de collaboration de certaines parties prenantes. Dans la dernière partie de ce travail, nous expliquons comment les différentes parties prenantes interagissent pour assurer la large diffusion de la voiture autonome.

Partie IV – Parties Prenantes

Les acteurs impliqués dans le développement de la voiture autonome sont de deux types. Nous observons, d'une part, les acteurs nécessaires au fonctionnement, à proprement parler, de la voiture autonome, ceux-ci sont des entreprises privées ; d'autre part, les pouvoirs publics qui jouent un rôle dans l'implémentation de cette innovation. Les actions des pouvoirs publics sont indispensables pour plusieurs raisons que nous détaillons dans la seconde section.

1. Entreprises privées

Les constructeurs automobiles et les fournisseurs de technologies de la voiture autonome sont les entreprises privées principales dans ce domaine. Ils sont les créateurs de cette innovation. Il semble évident que leur but est de commercialiser cette innovation afin d'en tirer profit. Les opérateurs téléphoniques jouent également un rôle crucial car l'opération de la voiture autonome ainsi que l'utilisation de l'*infotainment* passeront par leurs réseaux d'internet mobiles.

1.1. Constructeurs automobiles

Dans ce travail, nous ne considérons que les constructeurs avancés dans la recherche et le développement de cette innovation. Comme évoqué précédemment, il est probable que ces constructeurs internaliseront l'ensemble des dimensions du véhicule : *hardware* et *software*. Les constructeurs qui n'ont guère avancé dans la recherche et le développement sont susceptibles de rester confinés à la seule conception et construction de la voiture. Ils achèteront le *hardware* et le *software* nécessaire à la conduite autonome aux fournisseurs de technologies tels que Google et Bosch. Actuellement, seules quelques marques accomplissent de réelles avancées dans ce domaine. Nous les détaillons ci-dessous.

Groupe Volkswagen

Audi a formé un partenariat avec les laboratoires de recherche en électronique du groupe Volkswagen et avec l'université de Stanford pour la recherche et le développement de son

système autonome (Lari, Douma & Onyiah, 2014). Audi a démontré ses performances en la matière à plusieurs reprises : sa victoire au DARPA challenge en 2005 et sa deuxième place au DARPA Urban Challenge en 2007 (Blakman, 2010). La marque montre également ses performances avec l'accomplissement de la course de montagne *Pikes Peak* en 27 minutes alors qu'un expert de la conduite, au volant du même modèle, l'effectue en 17 minutes (Hanlon, 2010). En 2014, une RS7 autonome parcourt un tour de circuit du Grand Prix de Hockenheim avec une vitesse de pointe à 240 km/h (Audi, 2015). Pour terminer, en 2015, une Audi A7 autonome transporte plusieurs journalistes sur un trajet de plus de 890 km de Palo Alto à Las Vegas (Noqueira, 2015).

BMW

BMW travaille en collaboration avec Continental pour la recherche au sujet de la voiture autonome (Lari et al., 2014). En 2013, les ingénieurs testent déjà leurs voitures autonomes sur plus de 1000 kilomètres (Morgan Stanley, 2013). Certains dirigeants du groupe nient l'intérêt pour le concept car, selon eux, l'automobiliste achète une BMW parce qu'il veut la conduire (Davies, 2014). Cela entre en contradiction avec la démonstration de sa M325i lors du *Consumer Electronics Show* de 2014. La marque démontre qu'elle est prête à déployer cette innovation dès maintenant (Noqueira, 2014). BMW soutient que la marque ne crée pas des voitures pour les gens qui n'aiment pas conduire ; cependant, elle reconnaît qu'il existe des situations où la conduite est dangereuse et est mieux gérée par un ordinateur. Ils développent ces technologies pour ces raisons (Davies, 2014).

Mercedes-Benz

Ils sont les premiers à commercialiser une voiture semi-autonome de niveau 2. Leurs Classe S et Classe E de 2015 permettent aux conducteurs de bénéficier d'une conduite autonome dans les embouteillages jusqu'à une vitesse de 30 km/h. Mercedes possède également un prototype de voiture autonome, la S500 qui a parcouru les 100 kilomètres qui séparent Mannheim de Pforzheim. Le véhicule a relevé ce défi alors qu'il était plongé dans un trafic dense et qu'il a rencontré des situations difficiles (Mercedes-Benz, 2015).

Volvo

En 2015, la marque commercialisera la nouvelle XC90 semi-autonome. Tout comme les Mercedes Classe S et la Classe E, la XC90 roulera de manière autonome dans les zones congestionnées où la vitesse est inférieure à 30 km/h (Davies, 2015). En 2017, elle lancera un programme appelé : « *Drive Me* ». Cent véhicules autonomes seront mis à disposition des consommateurs pour être testés sur les routes publiques de Gothenburg. Les conducteurs seront choisis parmi leurs clients et incluront des individus sceptiques quant à la voiture autonome. Le but de ce test est d'observer comment la technologie fonctionne dans des conditions de routes réelles, comment l'innovation se déplace au milieu de véhicules conventionnels et quelles situations elle est capable de gérer (Davies, 2015). Par ailleurs, ce programme a également pour but de montrer les avantages de la voiture autonome aux utilisateurs (Lari et al., 2014).

Nissan

Nissan est plus lent à démarrer ; cependant, il est le seul constructeur à disposer d'un plan concret et agressif pour diffuser son véhicule autonome (Morgan Stanley, 2013). Nissan est entré dans un partenariat avec la NASA qui lui permettra d'introduire sa voiture autonome en 2020 (Szondy, 2015). Nissan lancera fin 2015, un véhicule semi-autonome pour les conditions de congestion sous la barre des 30 km/h. En 2018, la marque espère commercialiser ses véhicules équipés de systèmes permettant la gestion des événements inattendus et de changer de bande de circulation. A terme, en 2020, ils planifient d'introduire une voiture autonome capable de déterminer son propre itinéraire et de le suivre dans presque toutes les situations y compris la conduite dans les villes (Bora, 2015).

Autres

D'autres constructeurs sont également actifs dans le développement de la voiture autonome. Toutefois ils sont moins avancés ou font moins parler d'eux. Nous pensons à Toyota, Honda, Ford, Tesla, Lexus ou encore General Motor (Lari et al., 2014).

1.2. Fournisseurs de technologies

Dans cette section, nous détaillons la situation actuelle de deux fournisseurs de technologies avancés dans le domaine. Comme mentionné ci-avant, ces fournisseurs créeront et construiront le *hardware* et le *software* nécessaire aux systèmes autonomes et les vendront à certains constructeurs.

Google

Une large littérature décrit les avancées de ce géant de l'internet dans le développement de la voiture autonome. Google dispose d'une douzaine de véhicules autonomes à travers les États-Unis. Les voitures Google parcourent plus d'un million de kilomètres en 2014. Ces véhicules sont des Toyota et des Lexus équipées de *softwares* et *hardwares* de la marque Google (Gibbs, 2014). En 2014, la société présente son propre prototype de voiture autonome. Il s'agit d'une voiture électrique pour deux personnes donc le compteur ne franchit pas les 40 km/h. Toutefois, la commercialisation de celle-ci n'est pas annoncée (Egloff, 2014). Le géant informatique se contenterait de fournir ses *softwares* et *hardwares* aux constructeurs automobiles qui ne désirent pas se lancer dans la recherche et le développement de ces technologies. Ils sont à la recherche de partenariats avec des constructeurs automobiles (Gibbs, 2014).

Bosch

Bosch est un fournisseur majeur de l'industrie automobile. Il se lance également dans le développement des technologies de la voiture autonome (Vijayenthiran, 2013). Il présente récemment celles-ci. Il prévoit une implémentation en quatre phases qui se terminera en 2025 avec le lancement de sa voiture autonome. Bosch se contente également de rester un fournisseur de technologies pour les constructeurs automobiles (Sedgwick, 2015). L'offre de Bosch est similaire à celle d'Audi ou Mercedes (Vijayenthiran, 2013).

1.3. Opérateurs de téléphonie mobile

Le développement de la voiture autonome aura un impact sur les services de communication sans fil. Il est attendu que l'utilisation des réseaux mobiles augmente et que leur couverture s'élargisse. En effet, la voiture autonome sera doublement connectée : les utilisateurs se serviront des réseaux pour l'*infotainment* et les véhicules les exploiteront pour les communications V2V et V2I (Morgan Stanley, 2013). De plus, ils téléchargeront des données en permanence (Papaleo, 2015). Nous détaillons ce phénomène ci-après.

Premièrement, pour que la voiture autonome se déplace en toute sécurité, elle doit communiquer avec les véhicules environnants et avec l'infrastructure afin de disposer d'informations en temps réel sur les conditions de trafic et de s'adapter à des comportements inattendus. Cela implique que la voiture sera connectée en permanence au réseau et par conséquent, que les réseaux mobiles seront plus puissants et couvriront l'ensemble du territoire (Morgan Stanley, 2013 ; Anderson et al., 2014). Les opérateurs téléphoniques sont susceptibles de devenir les porteurs de la communication V2I car cela coûtera moins cher que d'équiper tout le réseau de transmetteurs nécessaires à une communication via la DSRC (KPMG & CAR, 2012). Rakouth (cité par KPMG & CAR, 2012), indique que la DSRC sera utilisée pour la communication V2V à courte portée, c'est-à-dire celle nécessaire aux systèmes anticollision ou au cruise control auto adaptatif et coopératif, par exemple, qui nécessitent une communication rapide et sans faille. Le reste de la communication V2V, moins critique, sera géré par les opérateurs téléphoniques.

Deuxièmement, tout comme l'ensemble des logiciels impliquant des codes informatiques, la voiture autonome nécessitera des mises à jour. Pour éviter que les propriétaires ne se rendent régulièrement au garage, les mises à jour seront effectuées via les réseaux mobiles (Anderson et al., 2014).

Troisièmement, les réseaux mobiles seront essentiels pour l'utilisation du contenu de la voiture autonome. Les Américains passent 75 milliards d'heures en voiture par an (Morgan Stanley, 2013). La conduite sans conducteur donnera aux utilisateurs le temps de lire leurs mails ou collecter des informations, regarder des films, jouer, etc. Ces activités nécessitent une connexion à internet. Cisco prévoit que le trafic sur le réseau d'internet mobile

augmentera de 68% en 2017 et le visionnage de vidéos sur internet de 29% (Morgan Stanley, 2013).

Quatrièmement, la voiture autonome changera la répartition temporelle de l'utilisation des réseaux mobiles. Actuellement, le trafic sur les réseaux est faible le matin, augmente pendant la journée pour atteindre son pic en soirée. La conduite autonome entraînera une utilisation de ces réseaux tout au long de la journée avec deux pics : le matin et en fin de journée, correspondant aux heures de pointe (Morgan Stanley, 2013).

Des partenariats se forment déjà entre les opérateurs de téléphonie mobile et les constructeurs automobiles dans le développement de l'*infotainment*. Par exemple, Audi et T-mobile travaillent ensemble aux États-Unis pour offrir une connexion Wi-Fi aux passagers de leur véhicule (Morgan Stanley, 2013). Outre cet aspect, ils développeront un réseau puissant pour supporter l'augmentation du trafic ainsi que le téléchargement de données devenues plus complexes et plus étoffées. Ils en élargiront la couverture pour assurer le téléchargement de données sur l'ensemble du réseau routier (Morgan Stanley, 2013 ; Papaleo, 2015). Ils en assureront également une fiabilité absolue. La fiabilité et la puissance de leurs réseaux sont indispensables pour développer le concept car de nombreux incidents peuvent découler d'un réseau trop lent ou inopérant.

2. Pouvoirs publics

Il existe plusieurs raisons qui nous incitent à penser que les pouvoirs publics auront un rôle à jouer dans l'implémentation de la voiture autonome. Pour commencer, le cadre législatif sera modifié. Ensuite, selon certains auteurs, les pouvoirs publics interviennent dans le jeu concurrentiel pour servir l'intérêt général (Fréry et al., 2011) ou en présence d'externalités (Hindriks, 2004). Dans le cas de la voiture autonome, les pouvoirs publics ont également un intérêt à aider les entreprises dans le développement de cette innovation car elle résoudra certaines de leurs préoccupations.

L'utilisation de la voiture autonome est prohibée sur le territoire des pays signataires de la Convention de Vienne. En effet, selon l'Article 8 de celle-ci, le conducteur est obligé d'avoir à tout moment le contrôle de son véhicule. L'Allemagne, l'Italie, la France,

l'Autriche et la Belgique ont introduit un amendement qui autorise l'utilisation de cette innovation sous certaines conditions (Duperron, 2014). Le prochain défi est de réduire, voire de supprimer les conditions à respecter pour l'utilisation de l'innovation. De plus, les gouvernements mettront en place le cadre légal pour l'utilisation de ces voitures autonomes. Ils décideront de la nécessité d'un permis de conduire ou du système d'assurance adéquat, par exemple (Doche, 2014).

Selon Fréry et al. (2011), l'état a le pouvoir d'aider les organisations à accroître leurs profits et d'intervenir dans le jeu concurrentiel. En règle générale, les instances de régulation n'agissent pas de leur propre chef. Le plus souvent, la demande est faite par les organisations privées qui utilisent plusieurs arguments pour inciter les pouvoirs publics à agir : intérêt général, indépendance nationale, exception culturelle ou agricole et taille critique (Fréry et al., 2011). Dans le cas qui nous occupe, nous pensons que l'argument utilisé par les constructeurs automobiles - pour justifier une certaine action des états - est l'intérêt général. En effet, nous avons démontré précédemment que la voiture autonome, avec sa capacité de diminuer les externalités du secteur automobile, profitera à l'ensemble de la population par la baisse de la pollution, de la congestion et des accidents de la route qui constituent des coûts conséquents pour la population.

Dans une économie de marché libre, si les consommateurs ne sont pas prêts à payer le prix pour un produit, c'est que le surplus qu'ils en retirent est mineur (Anderson et al., 2014). Dans le cas de la voiture autonome, le surplus du consommateur représente la réduction des coûts d'opération, le gain de productivité ainsi que le gain de temps octroyé par la baisse de la congestion. Cependant, les impacts positifs ne concernent pas uniquement l'acheteur du produit. Elle crée également des externalités positives qui concernent l'ensemble de la population: diminution de la congestion, de la pollution, des accidents, etc. (Anderson et al., 2014). Le surplus concerne la société, c'est pourquoi compter uniquement sur les forces du marché entraîne une inefficacité de celui-ci : la quantité de biens vendus ne maximisera pas le bien-être de la société. La consommation de biens qui produisent des externalités positives sera inférieure au niveau optimal (Hindriks, 2004). Les pouvoirs publics disposent d'outils pour aider les marchés à atteindre un équilibre plus efficace. Nous les détaillons dans la dernière partie.

Les pays développés tels que les États-Unis, le Japon, le Canada et les états membres de l'Union Européenne sont les premiers pays susceptibles de commercialiser la voiture autonome. Leurs départements du transport ont, entre autres, pour mission de fournir un système de transport sûr et écologique (U.S. Department of Transportation, 2012 ; UNECE, 2015 ; Transport Canada, 2015 ; Ministry of Land, Infrastructure and Tourism, 2015). La voiture autonome est un moyen, pour eux, d'accomplir cette mission. C'est donc dans l'intérêt des gouvernements d'aider les entreprises privées à commercialiser cette innovation afin de la rendre accessible au plus grand nombre de consommateurs.

Selon les auteurs, le rôle des pouvoirs publics est multiple (Fréry et al., 2011). Dans cette partie, nous développons seulement deux de ces rôles car ils sont pertinents pour notre sujet. Premièrement, le rôle de prescripteur ou de rassembleur consiste à décider de la réalisation de grands projets et à sélectionner les fournisseurs adéquats (Fréry et al., 2011). Nous pensons que ce rôle est fondamental pour la commercialisation de la voiture autonome car elle nécessite une orchestration des actions des différents acteurs. Il est inutile que des investissements importants en infrastructure soient réalisés si les technologies ne sont pas prêtes ou que les voitures soient finalisées pour la commercialisation si les consommateurs ne sont pas prêts à recevoir cette innovation. Deuxièmement, les états agissent comme financeurs en accordant des subventions, crédits d'impôts et exemptions de taxes (Fréry et al., 2011). Ce rôle aura un impact sur les constructeurs qui baisseront leur prix mais également sur les consommateurs qui recevront des réductions du prix d'achat au travers des impôts.

Parties V - Recommandations

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la commercialisation de la voiture autonome nécessite que l'on résolve quelques problématiques. Certaines d'entre elles le sont à moyen-terme, d'autres à plus long terme mais toutes nécessitent qu'on s'y attèle aujourd'hui afin qu'elle soient résolues à temps pour l'avènement de cette innovation. Pour les régler, il est essentiel d'éduquer les consommateurs, de résoudre le problème de responsabilité, de modifier l'infrastructure et de réduire l'inefficacité du marché. Il est primordial de souligner que les différents acteurs agiront de concert. En effet, rien ne sert que les routes soient prêtes si les consommateurs ou les réseaux ne le sont pas.

1. Acceptation du consommateur

Pour accélérer l'acceptation du consommateur, il faut l'éduquer. Cela consiste à le familiariser avec cette innovation, le sensibiliser aux bienfaits du produit ainsi qu'à augmenter sa confiance en cette innovation. Cela requerra beaucoup de travail pour que le conducteur soit prêt à lâcher le volant. Les parties prenantes les mieux positionnées pour résoudre ce problème sont les constructeurs automobiles et les pouvoirs publics. Nous souhaitons également introduire de nouveaux acteurs susceptibles de jouer un rôle dans l'acceptation des consommateurs : les dirigeants d'entreprises.

1.1. Via les constructeurs

L'acceptation des consommateurs peut être facilitée par une bonne communication marketing. Celle-ci rendra les utilisateurs plus réceptifs à l'innovation et permettra une large diffusion de celle-ci (de Moerloose & Lambin, 2012). Il existe cinq facteurs qui influencent cette réceptivité : l'avantage relatif, la compatibilité, la complexité, les possibilités d'essais et le caractère observable (Rogers ; cité par de Moerloose & Lambin, 2012). Nous détaillons ces facteurs ci-après.

L'avantage relatif de l'innovation est la dimension pour laquelle le nouveau produit est supérieur à l'ancien (de Moerloose & Lambin, 2012). Il est important que les constructeurs expliquent l'ensemble des avantages que la voiture autonome apportera à son utilisateur et

que la voiture conventionnelle n'avait pas. Ils se concentreront sur le gain de productivité et la diminution des coûts d'opération car il s'agit d'avantages majeurs dont le conducteur sera bénéficiaire.

Le deuxième facteur est la *compatibilité* de l'innovation avec les systèmes mis en place au niveau des valeurs et du mode de consommation pour réduire les coûts de transfert (de Moerloose & Lambin, 2012). Pour les consommateurs, la voiture n'est pas seulement un moyen de transport, c'est aussi un outil d'expression (Hayes, 2011). Les constructeurs doivent souligner que la voiture autonome ne changera pas cet aspect. Elle n'implique pas une uniformisation des modèles. Audi, par exemple, a développé une voiture de sport autonome, la RS7, atteignant les 240 km/h. Cette voiture est similaire à un modèle en production excepté que ses freins, son accélérateur, son volant et sa boîte de vitesse sont contrôlés par un système de conduite autonome (Bergounhox, 2014). Cela démontre que les constructeurs ont la possibilité de garder l'ensemble de leur gamme afin de permettre aux acheteurs le choix d'un modèle qui correspond au mieux à leur image ou leurs besoins.

La *complexité* de l'innovation, de son utilisation ou de sa compréhension peut entraîner des coûts supplémentaires à son adoption (de Moerloose & Lambin, 2012). Les constructeurs expliqueront le fonctionnement de ces technologies et la manière de les utiliser. Lors des premières phases, lorsque la voiture sera partiellement autonome, les constructeurs apprendront aux utilisateurs quand et comment reprendre le contrôle pour maximiser les avantages attendus de cette innovation. Nous suggérons que les autorités législatives mettent en place un permis spécifique pour la conduite de ces voitures semi-autonomes qui nécessitent un stage théorique et pratique chez les constructeurs. De plus, comme expliqué précédemment, il est nécessaire que l'utilisateur ait une confiance calibrée en l'innovation pour une utilisation optimale afin de réaliser ses avantages au maximum. Pour acquérir cette confiance, les utilisateurs doivent connaître et comprendre en profondeur des technologies utilisées.

Offrir des *possibilités d'essais* de l'innovation dissipe les incertitudes à son propos (de Moerloose & Lambin, 2012). De plus, des psychologues démontrent qu'une exposition répétée à des stimuli entraîne une préférence pour ces stimuli. Ces derniers appellent ce phénomène le *mere exposure phenomenon*. Il suffit que le produit soit perçu par les

récepteurs sensoriels de l'individu, il n'est pas nécessaire qu'il soit accompagné de renforcements positifs ou négatifs ni que le consommateur soit conscient de cet objet. Au plus un objet est familier pour un individu, au plus il aura tendance à l'apprécier (Zajonc, 2001). Une fois les technologies de la voiture autonome prêtes, les constructeurs organiseront des essais pour que les utilisateurs se familiarisent à l'idée du véhicule et qu'ils s'habituent à se faire conduire. Ils pourraient aussi disposer des simulateurs chez les distributeurs pour que les consommateurs expérimentent cette innovation dans un environnement sécurisé (Morgan Stanley, 2013). Les constructeurs prendront exemple sur Volvo et son programme « *Drive Me* » afin de mettre en place des programmes similaires.

La *caractère observable* de l'innovation consiste à montrer ce qui est visible et qui facilite la communication de ses avantages (de Moerloose & Lambin, 2012). Malheureusement pour la voiture autonome, rien de ce qui est observable ne facilite la communication de ses avantages. Nous pensons qu'il est indispensable que les constructeurs soient extensifs quant aux explications des avantages attendus car une incertitude courante chez les consommateurs en cas d'innovation de rupture est celle liée à la réalisation effective de ses avantages (Frambach ; cité par de Moerloose & Lambin, 2012).

1.2. Via les pouvoirs publics

Les pouvoirs publics joueront leur rôle de prescripteurs/rassembleurs ainsi que de financeurs pour éduquer les consommateurs. Au delà d'imposer un permis spécifique à l'utilisation d'une voiture semi-autonome, les gouvernements mettront en place différentes mesures. Nous les détaillons dans cette section.

Dans les phases intermédiaires, durant lesquelles la voiture sera partiellement autonome, il est essentiel que l'interaction entre le conducteur et le système autonome soit optimale. Pour cela, il faut que les attentes du conducteur sur les capacités des systèmes autonomes soient conformes à la réalité et qu'elles ne dépassent pas les limites de ces technologies (Kalra et al., 2009). Comme explicité précédemment, des attentes ne correspondant pas aux capacités réelles de l'innovation entraînent une mauvaise utilisation de celle-ci et, par conséquent, portent préjudice à la réalisation des avantages attendus. Les autorités compétentes mettront au point des standards et des réglementations sur l'opération des

technologies créées par les différents acteurs pour qu'elles fonctionnent de manière standardisée (Kalra et al., 2009). Pour illustrer ce problème, nous prenons l'exemple du *cruise control* auto adaptatif. Celui-ci a des comportements différents en fonction de sa programmation par le constructeur. La distance minimale entre les véhicules permise par ce système peut différer en fonction de la marque. Un conducteur qui a l'habitude que l'espace soit de quatre mètres par exemple, monte dans une voiture dont les réglages sont différents mais n'en a pas conscience ; il s'attend à ce que son véhicule ne s'approche pas à moins de quatre mètres du véhicule précédent. A un moment donné l'espace entre les voitures diminue et devient inférieur à quatre mètres, le conducteur pense que le système est défaillant et freine brusquement pour éviter une collision. Le conducteur derrière lui n'a pas su réagir assez rapidement et l'emboutit. Nous prenons également l'exemple des piétons. Ils s'attendent à ce que tous les véhicules réagissent de la même manière : ceux-ci s'arrêtent lorsque le piéton s'apprête à traverser. Les piétons prennent l'habitude de traverser sans vérifier que la voiture a bien l'intention de s'arrêter. Or, il se peut qu'un modèle ne s'arrête que lorsque le piéton est déjà engagé sur la route. Par conséquent, si un piéton s'engage sur la route au moment où la voiture passe à sa hauteur, celle-ci ne s'arrêtera pas et risque de le frôler voire de le renverser. Pour éviter ce genre de situations, il faut que les autorités compétentes mettent en place des standards sur la programmation des systèmes afin d'agir uniformément et d'éliminer toute confusion de la part des individus quant à leur fonctionnement (Kalra et al., 2009). Dans ce cas-ci, les pouvoirs publics jouent le rôle de prescripteurs.

Certains systèmes d'aide à la conduite ont démontré qu'ils sont bénéfiques pour la société. Les autorités compétentes mandateraient leur installation lors de la construction des automobiles pour accélérer leur adoption (Kalra et al., 2009). Comme nous l'avons expliqué précédemment, les nouvelles technologies automobiles prennent du temps avant d'être largement utilisées. Leur installation obligatoire aiderait à familiariser les utilisateurs avec ces nouvelles technologies et renforcerait leur confiance en celles-ci.

Les pouvoirs publics pourraient également promouvoir les bienfaits de la voiture autonome et son impact sur la sécurité routière. Ils diffuseraient des spots publicitaires via les différents médias comme ils le font actuellement pour promouvoir le port de la ceinture de sécurité, pour dissuader d'utiliser son téléphone au volant ou encore de conduire sous

influence. Cela apporterait une source d'informations légitimes et objectives aux consommateurs car contrairement aux constructeurs, le but des différents organismes gouvernementaux est d'assurer la sécurité routière et non de faire du profit.

Les gouvernements pourraient également financer l'achat de véhicules autonomes pour leurs membres. Cela augmenterait la visibilité de cette innovation et montrerait leur soutien pour cette innovation (Morgan Stanley, 2013). Le gouvernement est une source d'information légitime, leur confiance en cette innovation ne peut être que bénéfique pour l'acceptation des consommateurs.

1.3. Via les chefs d'entreprises

Nous pensons que les chefs d'entreprises trouveront un intérêt dans la voiture autonome. Grâce à celle-ci, leurs employés travailleraient durant leur trajet ou arriveraient détendus et, par conséquent, plus performants et prêts à être productifs sur leur lieu de travail. Les chefs d'entreprises décideraient alors que l'entreprise finance l'achat de voitures autonomes pour leurs cadres supérieurs. Ainsi, les employés utiliseront leur temps de trajet pour travailler ou se détendre afin d'être plus productifs une fois arrivés sur le lieu de travail.

De plus, la responsabilité sociale des entreprises sera renforcée car elles promouvront un mode de transport moins néfaste pour l'environnement et qui a pour but de diminuer la mortalité du secteur automobile. C'est également bénéfique car, par cet investissement, ils améliorent la qualité de vie de leurs employés en diminuant le stress causé par la conduite.

L'impact positif sur l'acceptation des consommateurs est évident car les employés qui bénéficient de cet avantage ne financeront plus leur propre automobile. Sachant que les dépenses liées à l'automobile correspondent à la deuxième dépense la plus élevée des ménages, cela leur sera bénéfique (Thrun, 2010). De plus, ces collaborateurs qui roulent en voiture autonome permettent aux autres usagers de la route d'observer ces véhicules et de s'y familiariser.

2. Responsabilité

Actuellement, en cas d'accidents de la route, la responsabilité mise en cause est celle du conducteur car il est considéré comme civilement responsable du comportement de son véhicule. Cela implique, que lors d'un accident, différentes théories de la responsabilité civile sont appliquées : la responsabilité pour négligence, la responsabilité sans égard à la faute et enfin la stricte responsabilité. Cette responsabilité s'éloignera petit à petit du conducteur pour devenir une responsabilité de produit. Lors des phases intermédiaires, lorsque la conduite sera partagée entre le conducteur et le système autonome, la responsabilité sera également partagée. Les conducteurs poursuivront les constructeurs automobiles, les fournisseurs de technologies ainsi que les opérateurs de téléphonie mobile en utilisant une des théories de la responsabilité du produit. La mise en cause de la responsabilité des producteurs lors d'accidents peut les pousser à ralentir l'introduction de technologies bénéfiques pour la société comme il l'ont fait en retardant l'installation des airbags (Kalra et al., 2009 ; Anderson et al., 2014).

La voiture autonome est un ordinateur sur roues, elle enregistrera de nombreuses données sur son comportement, celui des véhicules environnants, les conditions de routes, etc. Cela rendra la détermination des causes de l'accidents plus aisée qu'actuellement. Il sera donc plus facile de déterminer le responsable de l'accident : constructeur, développeur de technologie, opérateur téléphonique ou encore conducteur. Nous suggérons que les pouvoirs publics mettent en place un cadre légal qui autorise l'utilisation des données enregistrées pour déterminer quelle partie est en tort afin que celle-ci dédommage les victimes. Pour cela, il faut que ce cadre légal impose à chaque partie de se prémunir d'une assurance.

Les autorités législatives des différents pays pourraient également légiférer pour limiter la responsabilité des constructeurs automobiles et des développeurs de la voiture autonome pour que celle-ci ne soit plus un frein à l'introduction de nouvelles technologies. Ce phénomène a été observé aux États-Unis en 1986. Ils ont limité la responsabilité des producteurs de vaccins pour les inciter à produire en grande quantité (National Vaccine Information Center, 2015). Cette décision serait soutenue par le fait que ces technologies sont socialement bénéfiques et qu'il existe une possibilité que les constructeurs agissent

contre leur diffusion s'ils devaient être tenus pour responsables en cas d'accidents. Un système de rémunération sans égard à la faute serait mis en place pour dédommager les victimes des accidents. Cependant, cette solution diminue la motivation des constructeurs à apporter des modifications à leurs technologies pour améliorer leurs performances (Marchant & Lindor, 2012). C'est pourquoi nous pensons que cette loi doit suspendre la responsabilité des technologies pendant une durée limitée. Ainsi les constructeurs seraient à nouveau responsables des dommages causés par leurs technologies après un certain nombre d'années afin de les pousser à les améliorer.

3. Infrastructure

Au niveau de l'infrastructure, les pouvoirs publics mettent déjà en place des programmes concernant le marquage et le signalement des routes. En pratique, tous les marquages des routes et leur signalisation ne sont pas conformes aux standards et risquent de poser problème pour la fonction de perception de la voiture autonome. Les autorités compétentes doivent être plus strictes quant à l'application des standards existants afin que la fonction de perception des véhicules autonomes soit facilitée (Anderson et al., 2014 ; O'Toole, 2014). Ils doivent aussi faire en sorte que les travaux soient effectués à temps.

Bien que l'infrastructure pour la communication V2I ne soit nécessaire que dans les dernières étapes de la diffusion de l'innovation, nous pensons qu'il est primordial que les autorités s'y consacrent rapidement car le processus sera long. Lorsque les technologies de la communication V2I (émetteur/récepteurs) seront au point, le gouvernement imposerait que, lors de la construction de nouvelles routes ou de rénovation de routes existantes, les émetteurs et les récepteurs permettant la V2I soient installés. De cette manière les travaux seraient exécutés progressivement sans entraîner de coûts supplémentaires.

Les opérateurs téléphoniques sont également concernés par ces travaux d'infrastructure. Comme nous l'avons expliqué dans la partie précédente, ils assureront un réseau de télécommunication puissant, fiable et rapide. Il est essentiel qu'ils commencent dès maintenant car les premières voitures semi-autonomes feront leur entrée prochainement, permettant à leurs occupants de naviguer sur internet et par conséquent d'en augmenter la demande.

4. Inefficacité du marché

Comme nous l'avons expliqué dans la partie précédente, la voiture autonome crée des externalités positives qui entraînent une divergence entre la valeur privée du bien et la valeur pour la société. Pour résoudre cette divergence entre avantages privés et sociétaux, il existe plusieurs méthodes. Selon nous, les deux méthodes utiles dans notre situation sont une réduction des prix (rôle de financeur des pouvoirs publics) et l'utilisation de la législation (rôle de prescripteur des pouvoirs publics) (Hindriks, 2004).

La diminution du prix payé par les consommateurs est réalisable de deux manières. Premièrement, les pouvoirs publics ont largement soutenu les véhicules électriques et hybrides par l'offre de subventions aux constructeurs (Torregrossa, 2011). Nous suggérons que les autorités agissent de la même manière avec les constructeurs et développeurs des technologies de la voiture autonome. Deuxièmement, nous suggérons que les pouvoirs publics offrent une réduction d'impôts aux acheteurs de voitures autonomes comme ils le proposent à l'achat d'un véhicule électrique (Torregrossa, 2011).

L'utilisation de la législation est une intervention des autorités pour obliger les consommateurs à se procurer cette technologie. Nous pensons que lorsque la voiture autonome sera disponible pour les consommateurs, les autorités compétentes, aideraient à accélérer sa pénétration s'ils mandataient l'achat de véhicules équipés de cette technologie ou limitaient progressivement l'utilisation de la voiture conventionnelle (Morgan Stanley, 2013). Cette obligation ne serait mise en place qu'une fois que les prix auront diminué suffisamment pour donner à l'ensemble de la population l'opportunité de se procurer cette innovation.

Partie VI - Conclusion

Le développement de l'automobile et sa consommation de masse a fait progresser l'économie mondiale de manière considérable. Toutefois, cette consommation de masse a également engendré des externalités avec un impact négatif sur l'économie et la population.

La voiture autonome constitue une innovation de rupture induite aussi bien par les marchés que par les découvertes technologiques. Par conséquent, elle perturbera la structure de l'industrie actuelle. En effet, les logiciels constitueront le moteur de celle-ci. Ils deviendront créateurs d'une plus grande part de la valeur du véhicule. De plus, une nouvelle dimension, que nous appelons le contenu, apparaîtra. Celle-ci donnera la possibilité à des acteurs extérieurs d'entrer dans l'industrie automobile. Ces changements aboutiront à de nouveaux modèles économiques.

Nous soutenons que la commercialisation de la voiture autonome aura un impact positif sur l'économie ainsi que sur la qualité de vie des populations car elle réduira, notamment, les externalités créées par l'automobile. Néanmoins, il est impossible, à ce stade, de déterminer l'ampleur exacte de ses bienfaits.

La voiture autonome réduira le nombre d'accidents causés par les automobilistes. De simples technologies de support aux conducteurs démontrent qu'elles ont un impact positif en terme de réduction des accidents. La voiture autonome va au delà de cette fonction de support pour remplacer le conducteur et supprimer le facteur humain, cause de 90% des accidents routiers (Lutin et al., 2013). Par conséquent, la diminution des accidents sera majeure. Il est estimé que cette innovation permettra aux États-Unis d'économiser 300 milliards de dollars (Fagnant & Kockelman, 2013).

La pollution locale de l'air créée par les voitures cause des problèmes de santé et entraîne la mort, dans certains cas. Au niveau de la pollution globale de l'air, les véhicules à moteur ont participé à hauteur de 23% aux émissions totales de CO₂. Le coût de ces émissions est estimé par la *Environmental Protection Agency* à plus de 41 milliards de dollars (EPA, 2013). La voiture autonome réduira la pollution grâce à la diminution de la consommation de carburant par les automobiles et à l'aide au développement de la voiture électrique.

La diminution de la congestion induite par une meilleure maîtrise de la conduite par les systèmes autonomes ainsi que par la diminution du nombre d'accidents permettra à l'état d'économiser 120 milliards de dollars par an (Schrank et al., 2012).

Au-delà de ces avantages apportés à l'ensemble de la population, la voiture autonome offrira également des avantages aux seuls utilisateurs de cette innovation. En effet, la productivité des consommateurs sera améliorée car le stress induit par la conduite diminuera. De plus, la qualité de vie de certaines catégories d'individus sera améliorée car ils auront accès à la conduite.

Afin que la réalisation des avantages attendus de cette innovation soit optimale, il est indispensable que le taux de pénétration de celle-ci soit proche de 100%. Pour cela, il sera nécessaire de supprimer les obstacles à son adoption. Premièrement, l'acceptation des consommateurs - confiance en l'innovation, sécurité, vie privée, morale - sera totale. Deuxièmement, les problèmes liés à la mise en cause de la responsabilité seront résolus pour que les producteurs ne freinent pas la commercialisation de certaines technologies. Troisièmement, des travaux d'infrastructure seront réalisés. Quatrièmement, les technologies seront finalisées et leurs coûts devront diminuer. Finalement, le taux de renouvellement du parc automobile s'accélèrera.

La suppression de ces obstacles se fera progressivement. Toutefois, nous pensons que différents acteurs sont tenus de mettre en place des actions pour accélérer la suppression de certains d'entre eux.

Tout d'abord, il est essentiel d'amener la population à comprendre les bienfaits de cette innovation et à augmenter leur confiance en celle-ci. Pour cela, les pouvoirs publics et les entreprises privées – constructeurs automobiles, fournisseurs de technologies, opérateurs de téléphonie mobile - mettront en place des actions afin d'éduquer les consommateurs. Les chefs d'entreprises jouent également un rôle dans cette éducation par le financement de l'achat de véhicules autonomes de façon à ce que cette innovation soit présente sur les réseaux routiers.

Ensuite, un cadre légal sera mis en place pour réguler la mise en cause de la responsabilité en cas d'accidents. Les autorités législatives légifèreront également pour limiter la responsabilité des constructeurs et fournisseurs de technologies afin que ceux-ci ne freinent pas la commercialisation de certaines technologies.

Les pouvoirs publics joueront un rôle dans la coordination des travaux d'infrastructure à réaliser. Ils feront en sorte que les travaux soient réalisés à temps et qu'ils respectent les standards imposés. Les opérateurs de téléphonie mobile joueront également un rôle car leurs réseaux seront renforcés et améliorés.

Finalement, l'inefficacité du marché doit être résolue. Pour cela, les pouvoirs publics utiliseront la force par le biais de standards et de réglementations. Ils joueront également un rôle de financeur par l'offre de subventions aux firmes privées et par l'accord de crédit d'impôts aux acheteurs.

La première limite de cette recherche est que la voiture autonome n'est pas encore commercialisée. Par conséquent, ses impacts positifs ainsi que négatifs ne sont pas déterminés avec certitude. De plus, les acteurs dans le développement de ce nouveau produit ne cessent d'innover. Toutefois, nous avons arrêté nos recherches à un certain point dans le temps. C'est pourquoi, il est possible que notre travail ne comprenne pas certaines nouveautés apparues à posteriori. Une dernière limite de cette recherche est qu'elle ne tient pas compte de certains éléments tels que l'aspect sociologique et psychologique ou encore l'impact de la voiture autonome sur d'autres industries telle que le secteur médical. Nous n'allons également pas assez en profondeur dans certains domaines tels que celui de la technologie ou de l'éthique.

Cette dernière limite crée une opportunité de recherche plus poussée. Des chercheurs qui connaissent plus profondément les différents domaines peuvent joindre leurs forces afin de mener une recherche exhaustive sur la voiture autonome.

Partie VII - Bibliographie

- Alonso, J., Milanès, V., Pérez, J., Onieva, E., Gonzalès, C., & de Pedro, T. (2011). Autonomous vehicle control systems for safe crossroads. *Transport Research Part C*, 19, 1095-1110.
- Anderson, J., Kalra, N., Stanley, K.D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatobi, A.O. (2014). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. RAND Corporation.
- Angloinfo (2015). *Vehicle insurance in the USA*.
<http://usa.angloinfo.com/transport/vehicle-ownership/vehicle-insurance/> (Consulté le 15/06/2015).
- Audi (2015). *Audi piloted driving*.
http://www.audi.com/content/com/brand/en/vorsprung_durch_technik/content/2014/10/piloted-driving.html (Consulté le 06/06/2015).
- Bergounhoux, J. (2014). *Voiture autonome: une Audi RS 7 roule sans pilote à 240 km/h sur le circuit d'Hockenheim*. <http://www.industrie-techno.com/voiture-autonome-une-audi-rs-7-roule-sans-pilote-a-240-km-h-sur-le-circuit-d-hockenheim.33586> (Consulté le 06/06/2015).
- Berry, I. (2010). *The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of U.S. light-duty vehicles*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Blackman, C. (2010). *Stanford's robotic Audi to brave Pikes Peak without a driver*.
<http://news.stanford.edu/news/2010/february1/shelley-pikes-peak-020310.html> (Consulté le 06/06/2015).
- Blanco, S., & Le Loarne, S. (2009). *Management de l'innovation*. Paris: Pearson Education France.

Bora, K. (2015). *Nissan gets into self-driving mode, says its autonomous cars will be ready by 2020*. <http://www.ibtimes.com/nissan-gets-self-driving-mode-says-its-autonomous-cars-will-be-ready-2020-1926447> (Consulté le 06/06/2015).

Brown, A., Gonder, J., & Repac, B. (2013). *Automated vehicles have a wide range of possible energy impacts*. National Renewable Energy Laboratory.

Bullis, K. (2011). *How vehicle automation will cut fuel consumption*. <http://www.technologyreview.com/news/425850/how-vehicle-automation-will-cut-fuel-consumption/> (Consulté le 15/05/2015).

Christensen, C. (1997). *The innovator's dilemma*. New-York: HarperCollins.

Christensen, C., & Raynor, M. (2003). *The innovator's solution: creating and sustaining successful growth*. Boston: Harvard Business Press.

Coppens, F., & Gastel, G. (2003). *L'industrie de l'automobile en Belgique: importance de la sous-traitance dans l'assemblage de véhicules automobiles*. Banque Nationale de Belgique.

Davies, M. (2012). *How the U.S. automobile industry has changed*. <http://www.investopedia.com/articles/pf/12/auto-industry.asp> (Consulté le 20/05/2015).

Davies, A. (2014). *Driving enthusiasts will love BMW's plan for autonomous cars*. <http://www.businessinsider.com/bmws-plan-for-self-driving-cars-2014-1?IR=T> (Consulté le 06/06/2015).

Davies, A. (2015). *Volvo will test self-driving cars with real customers in 2017*. <http://www.wired.com/2015/02/volvo-will-test-self-driving-cars-real-customers-2017/> (Consulté le 06/06/2015).

Delucchi, M.A. (2000). Environmental externalities of motor-vehicle use in the US. *Journal of transport economics and policy*, 34(2), 135-168.

De Moerloose, C., & Lambin, J-J. (2012). *Marketing stratégique opérationnel*. Paris: Dunod.

DiClemente, J., Mogos, S., & Wang, R. (2014). *Autonomous car policy report*. Pittsburg: Carnegie Mellon University.

Doche, A. (2014). *Voiture autonome: un pas de plus vers son homologation*.
<http://www.caradisiac.com/Voiture-autonome-un-pas-de-plus-vers-son-homologation-94723.htm> (Consulté le 06/06/2015).

Duperron, A. (2014). *Grâce à cet amendement d'un traité, les constructeurs européens espèrent qu'ils seront les premiers à commercialiser des voitures autonomes*.
<http://www.express.be/business/fr/technology/grace-a-cet-amendement-dun-traite-les-constructeurs-europeens-espèrent-qu'ils-seront-les-premiers-commercialiser-des-voitures-autonomes/205191.htm> (Consulté le 02/07/2015).

Durand, R., Dussauge, P., & Garette, B. (2009). *Strategor: toute la stratégie d'entreprise*. Paris: Dunod.

Dutton, K. (2006). A Brief History of the Car. *New Ideas*, 1, 2-7.

Eckart, J., & Vairavamoorthy, K. (2013). *Contribution of automated vehicles to reduced fuel consumption and air pollution*. Tampa: Center for Urban Transportation research.

Economic Policy institute (n.d.). *The Great Recession*.
<http://stateofworkingamerica.org/great-recession/> (Consulté le 10/05/2015).

Egloff, E. (2014). *Google dévoile son prototype de voiture électrique sans conducteur*.
<http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2014/05/28/01007-20140528ARTFIG00367-google-devoile-son-prototype-de-voiture-electrique-sans-conducteur.php> (Consulté le 06/06/2015).

Encyclopédie Larousse (n.d.). <http://www.larousse.fr/encyclopedie/>

Fagnant, D.J., & Kockelman, K.M. (2013). *Preparing a nation for autonomous vehicles: Opportunities, barriers and policy recommendations*. Eno Center for transportation.

Fagnant, D.J., & Kockelman, K.M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenario. *Transportation Research Part C*, 40, 1-13.

FHWA (2012). *Planning Glossary*. <http://www.fhwa.dot.gov/planning/glossary/index.cfm> (Consulté le 15/05/2015).

FHWA (2013). *Cooperative adaptive cruise control: human factors analysis*. (Publication n° FHWA-HRT-13-045).
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/13045/13045.pdf> (Consulté le 03/07/2015).

FHWA (2013). *Reducing non-recurring congestion*.
http://ops.fhwa.dot.gov/program_areas/reduce-non-cong.htm (Consulté le 24/05/2015).

FHWA (2013). *Traffic analysis toolbox volume VI: definitions, interpretation, and calculation of traffic analysis tools measures of effectiveness*.
<http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08054/sect6.htm> (Consulté le 21/05/2015).

Fréry, F., Johnson, G., Whittington, R., & Scholes, K. (2011). *Stratégique*. Paris: Pearson Education France.

Gibbs, S. (2014). *Google's self-driving car: how does it work and when can we drive one?*
<http://www.theguardian.com/technology/2014/may/28/google-self-driving-car-how-does-it-work> (Consulté le 15/05/2015).

Glancy, D.J. (2012). Privacy in autonomous vehicles. *Santa Clara Law Review*, 52(2), 1171-1239.

Global Automakers & American International Automobile Dealers (2014). *Redefining American auto industry: the growing impact of international automakers on the U.S. economy*.

<https://www.globalautomakers.org/sites/default/files/RedefiningtheAmericanAutoIndustry2014.pdf> (Consulté le 30/05/2015).

Guler, S.I., Menendez, M., & Meier, L. (2014). Using connected vehicle technology to improve the efficiency of intersections. *Transportation Research Part C*, 46, 121-131.

Gurney, J.K. (2013). *Sue my car not me: products liability and accidents involving autonomous vehicles*. University of Illinois Journal of Law, Technology and Policy.

Gurtner, S., & Reinhardt, R. (2015). Differences between early adopters of disruptive technology and sustaining innovations. *Journal of Business Research*, 68, 137-145.

Hanley, M. (2009). *Shiny new technologies used by dusty old professions*.

<http://michaelhanley.ie/elearningcurve/index.php/tag/education-in-ireland/> (Consulté le 9/06/2015).

Hanlon, M. (2010). *Audi's autonomous Audi TT conquers Pikes peak - how long before it betters a human driver?* <http://www.gizmag.com/audis-autonomous-audi-tt-conquers-pikes-peak-how-long-before-it-betters-a-human-driver/17001/> (Consulté le 06/06/2015).

Hayes, B. (2011). Leave the driving to it. *American Scientist*, 99, 362-366.

Hindriks, J. & Myles, G.D. (2000). *Intermediate public economics*. Massachusetts: MIT Press.

Investaura (n.d.). *The diffusion of innovation*. <http://www.business-planning-for-managers.com/main-courses/forecasting/the-diffusion-of-innovation/?lang=fr> (Consulté le 20/07/2015).

J.D. Power (2014). *J.D. Power reports: Vehicle owners willing to pay for smartphone functionality, but not connectivity*. <http://www.jdpower.com/press-releases/jd-power-reports-vehicle-owners-willing-pay-smartphone-functionality-not-connectivity> (Consulté le 29/06/2015).

Johnson, M., Christensen, C., & Kagermann, H. (2008). Reinventing your business model. *Harvard Business Review*, 86(12), 57-68.

Kalasova, A., & Stacho, M. (2006). Smooth traffic flow as one of the most important factors for safety increase in road transport. *Transport*, 21(1), 29-33.

Kalra, N., Anderson, J., & Wachs, M. (2009). *Liability and regulation of autonomous vehicle technologies*. RAND Corporation.

KPMG & CAR (2012). *Self-driving cars: the next revolution*. KPMG International.

KPMG (2013). *Self-driving cars: are we ready?* KPMG International.

Lari, A., Douma, F., & Onyiah, I. (2014). *Self-driving vehicles: current status of autonomous vehicle development and Minnesota policy implications*. Document non publié. Minneapolis: University of Minnesota.
http://tpec.umn.edu/publications/whitepapers/documents/self_driving_cars.pdf

Lauer, S. (2008). *Industrie automobile: les raisons de la crise*. http://www.lemonde.fr/la-crise-financiere/article/2008/11/19/industrie-automobile-les-raisons-de-la-crise_1120685_1101386.html (Consulté le 14/05/2015).

Le Robert Micro (1997). Paris: Dictionnaires Le Robert.

Library of Congress (2011). *Who invented the automobile?*
<http://www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/auto.html> (Consulté le 19/05/2015).

Lindgardt, Z., Reeves, M., Stalk, G., & Deimler, M.S. (2009). *Business model innovation: when the game gets tough, change the game*. The Boston Consulting Group.

Litman, T. (2015). *Autonomous vehicle implementation predictions: implications for transport planning*. Victoria Transport Policy Institute.

Lutin, J., Kornhauser, A., & Lerner-Lam, E. (2013). The revolutionary development of self-driving vehicles and implications for the transportation engineering profession. *ITE journal*, 28-32.

Marchant, G.E, & Lindor R.A. (2012). The coming collision between autonomous vehicles and the liability system. *Santa Clara Law Review*, 52(4), 1321-1340.

Marinik, A., Bishop, R., Fitchett, V., Morgan, J.F., Trimble, T.E., & Blanco, M. (2014). *Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts: concepts of operation*. Washington, DC.: National Highway Traffic Safety Administration.

Mercedes-Benz (2015). *Parcours autonome sur longue distance: sur les traces de Bertha Benz*. http://www.mercedes-benz.be/content/belgium/mpc/mpc_belgium_website/fr/home_mpc/passengercars/home/world/innovation/news/s_500_drive.html (Consulté le 06/06/2015).

Ministry of land, infrastructure, transport and tourism (2013). <http://www.mlit.go.jp/en/index.html>.

Morgan Stanley Research (2013). *Autonomous cars: self-driving the new auto industry paradigm*. New York: Morgan Stanley.

National Vaccine Information Center (2015). *The national childhood vaccine injury act of 1986*. <http://www.nvic.org/injury-compensation/origihanlaw.aspx> (Consulté le 05/07/2015).

NHTSA (2012). *Traffic safety facts 2010*. (Publication n°DOT HS 811 659). Washington DC: U.S. Department of Transportation.

NHTSA (2013). *Preliminary statement of policy concerning automated vehicles.*

<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development> (Consulté le 20/05/2015).

Noqueira, D. (2014). *CES 2014: BMW fait une démonstration époustouflante de sa voiture autonome.* <http://www.01net.com/editorial/611452/ces-2014-bmw-fait-une-demonstration-epoustouflante-de-sa-voiture-autonome/> (Consulté le 06/06/2015).

Noqueira, D. (2015). *CES 2015: comment l'Audi A7 a parcouru près de 900 km sans personne au volant.* <http://www.01net.com/editorial/640177/ces-2015-comment-l-audi-a7-a-parcouru-pres-de-900-km-sans-personne-au-volant/> (Consulté le 06/06/2015).

O'Toole, R. (2014). *Policy implications of autonomous vehicles.* Washington DC: CATO Institute.

Papaleo, V. (2015). *Les voitures connectées: de futures files sur nos réseaux mobiles?* <http://blogs.lecho.be/tzine/2015/05/les-voitures-connect%C3%A9es-de-futures-files-sur-nos-r%C3%A9seaux-mobiles-.html> (Consulté le 19/06/2015).

Parry, I.W.H., Walls, M., & Harrington, W. (2007). Automobile externalities and policies. *Journal of economic literature*, 45, 373-399.

Passat (2015). *Nouvelle Passat SW.*

<http://www.passat.com/fr/fr/home.html?page=thepassatstate&video-6766161e-8f32-45b5-8fa4-73b40c42de26=3.0.4-Movie-Traffic-Jam-Assist.html> (Consulté le 8/06/2015).

Redoulès, O. (2009). L'économie mondiale en 2008: du ralentissement à la récession. In *L'économie française* (pp. 9-49). Paris : Insee références.

RobotC (2015). *Sense Plan Act (SPA)*. Document non publié. Carnegie Mellon Pittsburg: Robotics Academy.

Russom, S. (2012). A firm-level analysis on the relative difference between technology-driven and market-driven disruptive business model innovations. *Creativity and innovation management*, 21(3), 290-303.

Sartre (2012). *Press release: partners conclude after the Sartre project*. http://www.sartre-project.eu/en/about/news/Sidor/20120917_1.aspx (Consulté le 17/06/2015).

Schonberger, B., & Gutmann, S. (2013). *A self-driving future: at the intersection of driverless cars and car-sharing*. <http://daily.sightline.org/2013/06/04/a-self-driving-future/> (Consulté le 23 :06/2015).

Schrank, D., Eisele B., & Lomax, T. (2012). *TTI's 2012 urban mobility report*. Texas A&M Transportation Institute, The Texas A&M University System.

Sedgwick, D. (2015). *Bosh outlines 10-year path to door-to-door driverless car*. <http://www.autonews.com/article/20150114/OEM09/150119807/bosch-outlines-10-year-path-to-door-to-door-driverless-car> (Consulté le 06/06/2015).

Shladover, S.E., Nowakowski, C., Lu, W-Y., & Ferlis, R. (2014). *Cooperative adaptive cruise control (CACC) definitions and operating concepts*. Washington DC: Transport Research Board.

Sivak, M. & Schoettle, B. (2015). *Road safety with self-driving vehicles: general limitations and road sharing with conventional vehicles*. University of Michigan, Transportation Research Institute.

Small, K.A. (1992). Using the revenues from congestion pricing. *Transportation*, 19(4), 359-381.

Smith, B.W. (2012). Managing autonomous transportation demand. *Santa Clara Law Review*, 52(4), 1400-1422.

Szondy, D. (2015). *Nissan and NASA team up for autonomous drive vehicle development*. <http://www.gizmag.com/nasa-nissan-self-driving-vehicles-pact/35574/> (Consulté le 06/06/2015).

Thrun, S. (2010). Towards robotic cars. *Communications of the ACM*, 53(4), 99-106.
doi :10.1145/1721654.1721679.

Torregrossa, M. (2011). *Zoom sur les aides des pouvoirs publics aux constructeurs pour le développement des voitures électriques*. <http://www.avem.fr/actualite-zoom-sur-les-aides-des-pouvoirs-publics-aux-constructeurs-pour-le-developpement-des-voitures-electriques-2378.html> (Consulté le 03/07/2015).

Transport Canada (2015). *Road transport and the environment*.
<https://www.tc.gc.ca/eng/menu.htm#> (Consulté le 10/07/2015).

U.S. Department of Energy (n.d.). *Federal tax credit for electric vehicles*.
<http://www.fueleconomy.gov/feg/taxevb.shtml> (Consulté le 04/07/2015).

U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics (2005). *National transportation statistics 2004*. Washington, DC: U.S Government Printing Office.

U.S. Department of Transportation (2012). *About*. <http://www.transportation.gov/about> (Consulté le 25/07/2015).

U.S Department of Transportation (2014). *Intelligent Transportation System*.
http://www.its.dot.gov/safety/v2v_comm_safety.htm (Consulté le 23/05/2015).

U.S. Department of Transportation (2015). *DSRC: The future of safer driving*.
http://www.its.dot.gov/factsheets/dsrc_factsheet.htm (Consulté le 05/07/2015).

United Nations Economic Commission for Europe (2015). <http://www.unece.org/info/ece-homepage.html>

United States Environmental Protection Agency (2013). *Fast facts: U.S. transportation sector greenhouse gas emissions 1990-2011*. (Publication n° EPA-420-F-13-033a).

<http://www.epa.gov/oms/climate/documents/420f13033a.pdf> (Consulté le 21/05/2015).

Vijayenthiran, V. (2013). *Bosh gives update on its autonomous car development: video*.

http://www.motorauthority.com/news/1081957_bosch-gives-update-on-its-autonomous-car-development-video (Consulté le 06/06/2015).

Wikipédia (2015). <https://fr.wikipedia.org/wiki/>

Zajonc, R. (2001). Mere Exposure : a gateway to the subliminal. *Current directions in psychological science* 10(6), 224-228.

