

## Le futur de la mobilité ; changement de paradigme



**Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du Bachelor HES**

par :

**Xavier THIERRIN**

Conseiller au travail de Bachelor :

**Marc-André EGGIMANN, professeur HES**

**Genève, le 16 juillet 2019**

**Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)**

**Filière Economie d'entreprise**

## Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Science en économie d'entreprise.

L'étudiant a envoyé ce document par email à l'adresse d'analyse remise par son conseiller au travail de Bachelor pour analyse par le logiciel de détection de plagiat URKUND.  
<http://www.urkund.com/fr/student/392-urkund-faq>

L'étudiant accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de Bachelor, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celle du conseiller au travail de Bachelor, du juré et de la HEG.

« J'atteste avoir réalisé seul le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie. »

Fait à Lausanne, le 16 juillet 2019

Xavier Thierrin

## Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui m'ont aidé, soutenu et encouragé tout au long de ce travail de Bachelor.

Je tiens à remercier particulièrement mon conseiller de travail de Bachelor, Monsieur Marc-André Eggimann pour m'avoir accompagné tout au long de mon travail et pour sa précieuse aide.

Je tiens également à remercier Monsieur Jean-Marc Hilfiker pour m'avoir laissé participer aux séances du projet « Echosmile ».

Finalement, je souhaite remercier toute ma famille et mes amis pour leur relecture et le soutien qu'ils m'ont apporté durant ce travail.

## Résumé

La prise de conscience des enjeux climatiques pousse les industriels ainsi que les gouvernements, à prendre des mesures, en particulier dans le secteur de la mobilité et du transport routier, afin d'enrayer ce phénomène.

L'objectif de ce travail est d'imaginer le futur de la mobilité dans un horizon à court et long terme. Nous pouvons observer actuellement la venue des véhicules électriques sur le marché et de nombreuses sociétés commencent à développer des technologies de véhicules autonomes.

Dans un premier temps, ce travail débute avec une vue d'ensemble à propos des véhicules électriques, c'est-à-dire un historique de cette technologie jusqu'à la situation actuelle. Le dossier traite également des différentes barrières et motivateurs à l'émancipation des véhicules électriques.

Dans un deuxième temps, ce travail aborde le sujet des véhicules autonomes, du potentiel d'utilité de cette technologie, mais également des points critiques à résoudre avant une acceptation globale par le marché.

Dans un troisième temps, ce dossier étudie différentes visions que le futur de la mobilité pourrait prendre. Afin d'explorer différents axes innovants, ce document est appuyé par un modèle C-K. Il aborde différents aspects de la mobilité, comme celle des personnes, des marchandises, du tourisme, etc.

# Table des matières

|   |            |
|---|------------|
| <b>Déclaration.....</b>   | <b>i</b>   |
| <b>Remerciements.....</b>   | <b>ii</b>  |
| <b>Résumé .....</b>   | <b>iii</b> |
| <b>Liste des tableaux .....</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>Liste des figures.....</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>1. Introduction.....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2. Véhicules électriques .....</b>   | <b>3</b>   |
| <b>2.1 Qu'est-ce que la mobilité électrique ?.....</b>  | <b>3</b>   |
| <b>2.2 Différents types de véhicules électriques.....</b>   | <b>3</b>   |
| 2.2.1 Véhicule hybride (HEV) .....  | 4          |
| 2.2.2 Véhicule hybride rechargeable (PHEV).....   | 4          |
| 2.2.3 Véhicule électrique (EV) .....  | 5          |
| 2.2.4 Véhicule hydrogène (FCV).....   | 5          |
| <b>2.3 Histoire des véhicules électriques .....</b>   | <b>6</b>   |
| 2.3.1 Le 19e siècle: les débuts des véhicules électriques .....   | 6          |
| 2.3.2 20e siècle: Arrivée des véhicules thermiques .....  | 8          |
| 2.3.3 20 <sup>e</sup> et 21 <sup>e</sup> siècle: réémergence des véhicules hybrides et électriques..... | 9          |
| <b>2.4 Situation actuelle .....</b>   | <b>11</b>  |
| 2.4.1 Infrastructure .....  | 12         |
| 2.4.2 Conception du marché électrique .....   | 13         |
| 2.4.3 Politique d'incitation .....  | 14         |
| 2.4.4 Stratégie « Transport 2050 » .....  | 16         |
| 2.4.5 Avenue 2020 .....   | 18         |
| <b>2.5 Barrières des véhicules électriques .....</b>  | <b>18</b>  |
| 2.5.1 Manque d'infrastructure de rechargement .....   | 19         |
| 2.5.2 Restrictions économiques.....   | 20         |
| 2.5.3 Restrictions techniques.....  | 21         |
| 2.5.4 Manque de confiance, d'informations et de connaissances .....                                     | 22         |
| 2.5.5 Approvisionnement en électricité .....  | 23         |
| 2.5.6 Approvisionnement en matières premières.....  | 23         |
| 2.5.7 Diversité limitée de la gamme de véhicules .....  | 25         |
| <b>2.6 Motivateurs des véhicules électriques.....</b>   | <b>26</b>  |
| 2.6.1 Aspects environnementaux.....   | 26         |
| 2.6.2 Aspects économiques et encouragements de l'Etat.....  | 28         |
| 2.6.1 Aspects fonctionnels.....   | 31         |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. Voiture autonome .....</b>                                | <b>32</b> |
| <b>3.1 Qu'est-ce que la mobilité autonome ? .....</b>           | <b>32</b> |
| <b>3.1 Situation actuelle .....</b>                             | <b>34</b> |
| 3.1.1 Nouveaux acteurs.....                                     | 37        |
| 3.1.2 Accidents.....  | 40        |
| 3.1.3 Ethique .....   | 41        |
| 3.1.4 Cybersécurité .....                                       | 42        |
| 3.1.5 Potentiel d'utilité .....                                 | 44        |
| <b>4. Visions du monde de demain en termes de mobilité.....</b> | <b>47</b> |
| <b>4.1 Mobilité en tant que service (MaaS) .....</b>            | <b>52</b> |
| 4.1.1 Coûts.....  | 54        |
| <b>4.2 Le dernier kilomètre .....</b>                           | <b>55</b> |
| <b>4.3 Tourisme .....</b>                                       | <b>56</b> |
| <b>4.4 Mobilité sans déplacement .....</b>                      | <b>57</b> |
| <b>5. Conclusion .....</b>                                      | <b>59</b> |
| <b>Bibliographie .....</b>                                      | <b>61</b> |
| <b>Annexe 1 : Modèle C-K.....</b>                               | <b>71</b> |

## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Comparatif des aides gouvernementales ..... | 30 |
|--|----|

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Smog urbain .....                                    | 2  |
| Figure 2: Différents types de véhicules électriques .....      | 3  |
| Figure 3: The Always Happy .....                               | 7  |
| Figure 4: Never Satisfied .....                                | 8  |
| Figure 5: BMW E1 .....   | 9  |
| Figure 6: Pollution globale d'un véhicule .....                | 27 |
| Figure 7: Pièces moteur d'un EV.....                           | 28 |
| Figure 8: Pièces moteur d'un ICE .....                         | 28 |
| Figure 9: Evolution des coûts de production de batteries ..... | 29 |
| Figure 10: Niveaux d'autonomie des véhicules .....             | 32 |
| Figure 11: Evolution des recherches sur Google.....            | 34 |
| Figure 12: T-Pod.....  | 37 |
| Figure 13: E-palette .....                                     | 37 |
| Figure 14: Projet Titan .....                                  | 38 |
| Figure 15: Voiture de Aptiv.....                               | 38 |
| Figure 16: Voiture de Uber.....                                | 39 |
| Figure 17: Résumé du Modèle C-K.....                           | 47 |
| Figure 18: Axe 1.1 .....                                       | 48 |
| Figure 19: Axes 1.2 et 1.3.....                                | 48 |
| Figure 20: Axe 1.4 .....                                       | 49 |
| Figure 21: Axe 2.1.1 .....                                     | 50 |
| Figure 22: Axe 2.1.2 .....                                     | 50 |
| Figure 23: Axe 2.1.3 .....                                     | 51 |
| Figure 24: Axe 2.2 .....                                       | 51 |
| Figure 25: Illustration de la technologie Holoportation.....   | 58 |

# 1. Introduction

Selon des rapports des Nations Unies, il est prédit que d'ici 2050, plus de 80% des pays développés, et 60% des pays en développement, seront urbanisés. Ces rapports prédisent également que la quasi-totalité de la croissance démographique prévue entre 2016 et 2030, devrait être englobée au sein des zones urbaines. Ainsi, cela devrait augmenter la densité de la population au sein des villes, créant de ce fait une demande accrue en termes de mobilité. Le risque inhérent sera la surcharge du réseau de transport, ce qui en résultera une énorme perte de temps, d'énergie et d'argent. De plus, l'augmentation du trafic routier créera une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, néfaste à l'environnement et de facto à la population mondiale.

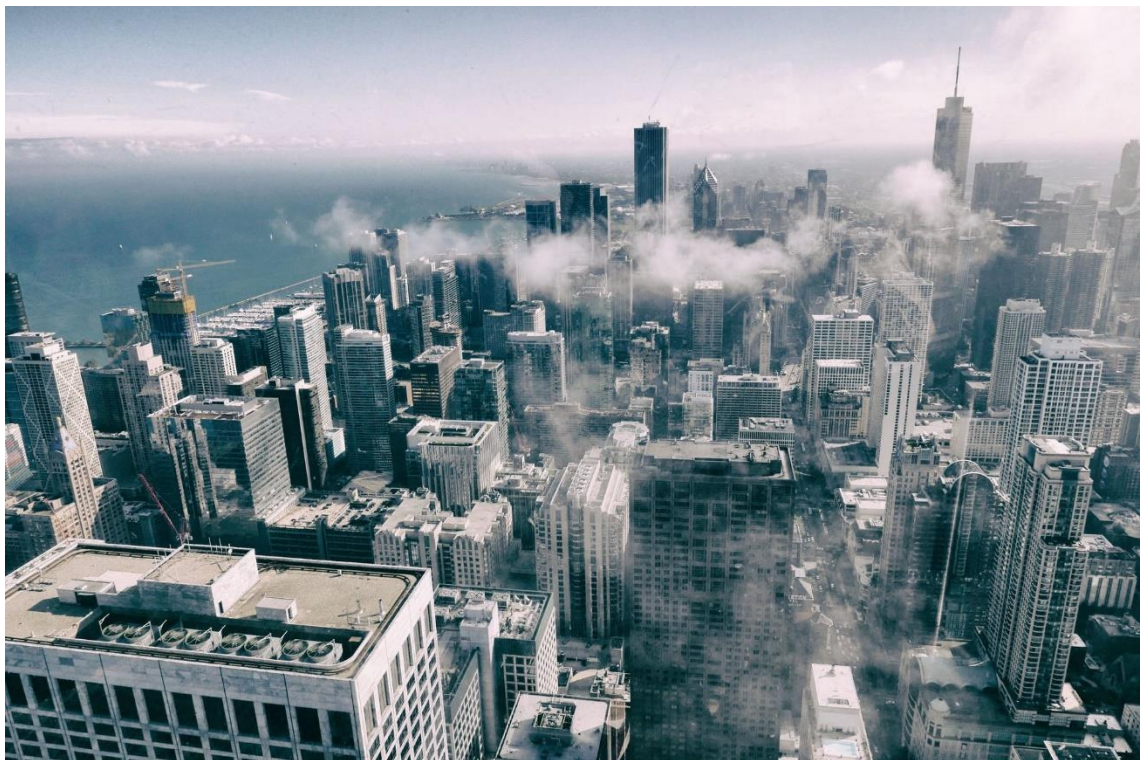
Actuellement, Le secteur des transports (route, rail, air, mer) représenterait 27% de la consommation totale d'énergie dans le monde, dont 75% proviendrait de ressources fossiles non renouvelables. En 2013, le secteur du transport, à lui seul, a produit 7,4 Gt de CO<sub>2</sub> selon l'Agence internationale de l'énergie (*Agence internationale de l'énergie, 2018*). Cependant, il est capital de comprendre que le transport routier représente à lui seul, 80% de ces émissions. De ce fait, si les tendances actuelles ne sont pas drastiquement changées, la pollution du transport routier pourrait atteindre 9 Gt de CO<sub>2</sub> par an, d'ici 2030 (*International Transport Forum, 2015*).

Selon la Banque mondiale, les coûts liés aux décès prématurés dus à la pollution atmosphérique en 2013, seraient d'environ USD 225 milliards (*Bank, 2016*). Cependant, la pollution a également un impact humain indirecte, avec des effets sur la santé mais également sur le climat. L'impact sur la santé publique devrait alors augmenter avec la densification urbaine. De nombreuses études attribuent le développement de maladies, à la pollution ambiante, comme l'asthme (*Gonzalez-Barcala et al., 2013*), l'hypertension artérielle (*Weichenthal et al., 2014*), le cancer du poumon (*Guo et al., 2016*), la maladie d'Alzheimer (*Cacciottolo et al., 2017*) ou encore la démence (*Chen et al., 2017*). De plus, les changements climatiques et les phénomènes météorologiques (tempêtes, sécheresses, etc.) étant de plus en plus fréquents et extrêmes, augmentent les risques de santé. Par exemple, durant la grande canicule de 2003 en Europe, le taux de mortalité avait augmenté de près de 50% (*Carreras et al., 2015*).



De ces constats, nous pouvons observer que la population, les politiques, ainsi que les industries essaient de trouver des solutions alternatives. Dans le cadre de ce dossier, nous nous pencherons sur le changement de paradigme en matière de mobilité. La base de ce dossier se fait sur deux types de technologie ayant le potentiel de révolutionner la mobilité moderne, les véhicules électriques et autonomes. Dans un horizon proche, la propulsion électrique risque d'être un tournant majeur dans l'industrie automobile, et cumulé à cela, la mise en place de la technologie autonome dans un horizon plus lointain, risque de changer profondément la perception de la mobilité individuelle.

Figure 1: Smog urbain



(Source : internet)

## 2. Véhicules électriques


























### 2.1 Qu'est-ce que la mobilité électrique ?

La mobilité électrique, qui est encore à ses débuts, est considérée comme une composante de la mobilité durable et respectueuse de l'environnement. La mobilité électrique (e-mobilité) est un terme général qui désigne l'utilisation de tout type de véhicule électrique tirant principalement leur énergie du réseau électrique afin de se détourner de la consommation de combustible fossile.

### 2.2 Différents types de véhicules électriques

Il existe différents types de véhicules électriques et ils peuvent être regroupés en quatre catégories distinctes comme le montre le tableau ci-dessous.

Figure 2: Différents types de véhicules électriques

|                       | <br>HEV  | <br>PHEV   | <br>EV  | <br>FCEV   |
|-----------------------|---|---|--|---|
| Source d'énergie      |    |     |   |    |
| Consommation          |    |    |    |    |
| Emissions du véhicule |    |    |   |    |

(Source : auteur)

### **2.2.1 Véhicule hybride (HEV)**

Un hybrid electric vehicle (HEV) est un type de véhicule hybride ayant un système de moteur à combustion interne classique (ICE) et un système de propulsion électrique (transmission hybride). L'objectif d'une propulsion hybride de ce genre est de permettre une meilleure efficacité de consommation de carburant qu'un véhicule classique. Il existe une variété de HEV, de par leur degré de système de propulsion électrique. La forme la plus courante de HEV est la voiture électrique hybride, bien qu'il existe également des camions électriques hybrides, camionnettes, autobus, etc.

Les véhicules modernes de type HEV utilisent principalement la technologie de « regenerative braking » afin de convertir l'énergie cinétique lors du freinage du véhicule en énergie électrique, qui est ensuite stockée dans une batterie ou un supercondensateur<sup>1</sup>. D'autres types de HEV utilisent leur moteur à combustion afin de produire de l'électricité grâce à un générateur électrique pour recharger les batteries ou pour alimenter directement la propulsion. Le but final de ce type de véhicule est de réduire les émissions en arrêtant le moteur lorsqu'il tourne au ralenti et en le redémarrant au besoin.

### **2.2.2 Véhicule hybride rechargeable (PHEV)**

Les PHEV sont équipés d'un moteur à essence et d'un moteur électrique qui travaillent ensemble en fonction de la vitesse et de l'accélération du véhicule. Le but du moteur électrique est d'améliorer les performances et l'autonomie (distance) du véhicule. A la différence d'un HEV, les PHEV disposent d'une batterie rechargeable afin d'avoir plus d'électricité et de pouvoir recharger leur batterie sur le réseau électrique. Les PHEV sont considérés comme une solution transitoire entre les véhicules conventionnels et les véhicules électriques.

---

<sup>1</sup> Instrument de stockage avec une grande densité d'énergie qui permet de se charger et décharger plus rapidement qu'une batterie classique

### **2.2.3 Véhicule électrique (EV)**

En revanche, les véhicules électriques à batteries (EV) ne comprennent qu'un moteur électrique alimenté par une batterie stockant de l'électricité. Cette dernière doit être rechargée à partir du réseau électrique et, est partiellement rechargée lors de l'utilisation du véhicule grâce au « regenerative braking ». Le tout est supervisé par l'ordinateur central (cerveau du véhicule) qui permet de réguler la puissance envoyée au moteur électrique connecté à chaque roue motrice.

Cependant, la densité énergétique de la technologie de batteries « lithium-ion », est d'environ 200 à 250 Wh/kg. Ceci est donc bien plus faible, comparée à la densité énergétique de l'essence, soit 12'200 Wh/kg.

### **2.2.4 Véhicule hydrogène (FCV)**

Un véhicule à pile à combustible ou plus communément appelé véhicule à hydrogène (FCV) est un type de véhicule électrique qui utilise une pile à combustible au lieu d'une batterie, ou en combinaison avec une batterie ou un supercondensateur, pour alimenter le moteur électrique. La plupart des véhicules à pile à combustible sont classés comme véhicules à zéro émission car ces derniers n'émettent que de l'eau et de la chaleur. Par rapport aux véhicules à combustion interne, les véhicules à hydrogène centralisent uniquement les polluants à la source de production de l'hydrogène, où l'hydrogène est généralement dérivé du gaz naturel reformé. Cependant, le transport et le stockage de l'hydrogène crée également de la pollution.

## 2.3 Histoire des véhicules électriques

Contrairement à la croyance populaire, les véhicules électriques ne sont pas une nouveauté. En effet, son histoire remonte à l'origine même de l'automobile. Toutefois, cette technologie n'a jamais réussi à être acceptée par le marché et de ce fait, n'a jamais cessé de revenir à travers le temps. Au cours des 100 dernières années, ce type de mobilité est réapparu à plusieurs reprises, à tel point que la voiture électrique a été identifiée par certains auteurs comme une « technologie éternellement émergente » (*Sadeghian, 2015 ; Midler, von Pechmann, 2015*).

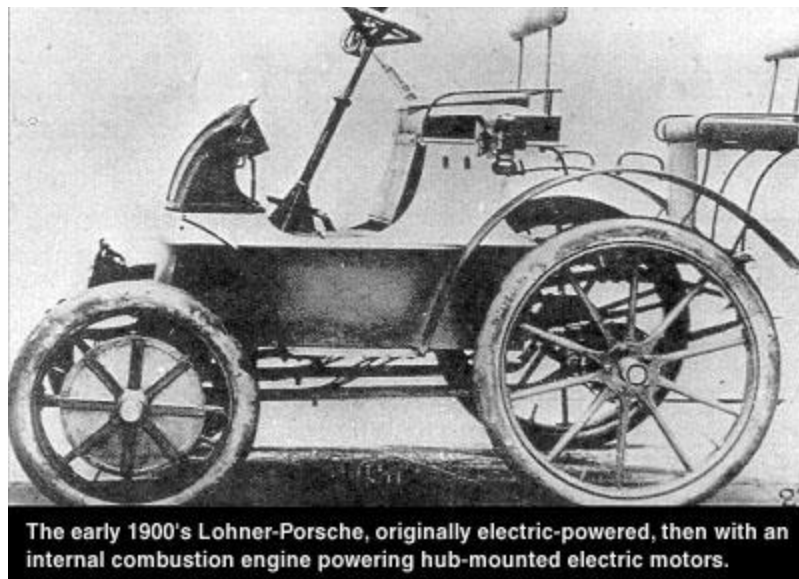
### 2.3.1 Le 19<sup>e</sup> siècle: les débuts des véhicules électriques

Les débuts des véhicules électriques commencent durant les années 1860. En effet, c'est en Angleterre, en France et aux États-Unis que l'on peut observer les premières recherches sur ce genre de technologie (*Angot, 2015*).

En 1870, l'Anglais Sir David Salomon développe une voiture avec un moteur électrique. Cependant, l'autonomie et la vitesse de pointe sont déplorables. Cette initiative témoigne toutefois d'un réel désir de recherche dans ce domaine. C'est en 1890 que la première course de voitures américaines a eu lieu à Springfield et a été remportée par un véhicule électrique. Depuis cela, de nombreuses recherches ont été faites afin de résoudre la problématique de la durée de vie des batteries. Une amélioration significative est à noter en ce qui concerne les batteries au plomb-acide de Tudor et au nickel-fer de Edison et Junger (*Angot, 2015*).

Il est également intéressant de souligner que le premier véhicule de l'industriel autrichien Ferdinand Porsche, est une voiture électrique. Cette dernière fut créée en 1899 et avait deux moteurs électriques dans les roues avant, ce qui lui permettaient de parcourir environ 80 km en une seule charge. Cette voiture a été présentée au salon de Paris sous le nom de « The Always-Happy » et avait pour but de concourir et de battre des records (Angot, 2015).

Figure 3: The Always Happy

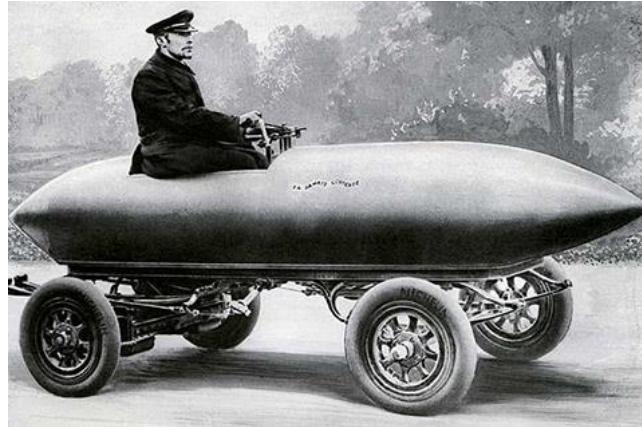


(Source : internet)

Cependant, le poids conséquent des batteries empêchait le véhicule d'atteindre une vitesse suffisante afin de pouvoir monter des collines. Au fil des ans, Ferdinand Porsche améliora sa voiture et mis au point une voiture hybride qui peut être également considérée comme le début du véhicule hybride. Ce dernier était équipé d'un système de propulsion à essence entraînant un générateur relié à des moteurs électriques installé à chaque roue. Cela lui a permis d'atteindre 56 km/h et ainsi, gagner plusieurs records de vitesse. Néanmoins, les coûts de production élevés, par rapport aux moteurs à essence, ont malheureusement contribué à la disparition progressive de la voiture hybride Lohner-Porsche (Angot, 2015).

En 1899, Camille Jenatzy conçut une voiture électrique et établit le premier record de vitesse au-dessus de 100 km/h. Ce véhicule avait pour nom « Never Satisfied », en référence à la voiture Lohner-Porsche « Always Happy ».

Figure 4: Never Satisfied



(Source : internet)

### 2.3.2 20<sup>e</sup> siècle: Arrivée des véhicules thermiques

Dès 1905, Henry Pieper créa des véhicules pétro-électriques combinant un moteur thermique et un moteur électrique. Les brevets ont été utilisés par la société belge Auto-mixte pour construire des véhicules utilitaires. L'objectif de cette combinaison de moteurs était d'aider le moteur à combustion thermique et donner plus de puissance au moyen de moteurs électriques. Cependant, dès 1904, Henry Ford commença à produire des véhicules thermiques à des prix défiant toutes concurrences, empêchant ainsi, les véhicules électriques de continuer la course sur le marché automobile dès 1913 (Angot, 2015).

### 2.3.3 20<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> siècle: réémergence des véhicules hybrides et électriques

Il faut ensuite attendre jusqu'en 1966 pour que les véhicules hybrides et électriques réapparaissent progressivement. A cette époque déjà, le Congrès américain recommandait l'emploi de véhicules électriques afin de lutter contre la pollution urbaine. De plus, suite au premier choc pétrolier de 1973 et donc, à la hausse des prix des carburants qui en résulte, l'intérêt est relancé pour ce type de véhicule. Suite à la signature du « Clean Air Act » de 1965, plusieurs études ont été menées par différents instituts de recherche et entreprises, afin de résoudre le problème de l'autonomie de la batterie et des problèmes liés à leur mémoire. À la fin des années 1970, moins de 4'000 véhicules électriques avaient été vendus dans le monde. Cependant, l'intérêt du public pour les EV, a repris durant la seconde moitié des années 80 et début des années 90, après une période de faible activité (Angot, 2015).

En 1991, BMW présente une citadine électrique considérée comme le véhicule le plus révolutionnaire du 20<sup>e</sup> siècle. Cette dernière fonctionnait grâce à une batterie sodium-soufre. Ce véhicule pouvait atteindre 120 km/h pour 160 km d'autonomie et pouvait être rechargé avec une simple prise électrique en 6 heures, ou 2 heures sur un terminal approprié. Néanmoins, la problématique actuelle de l'autonomie des batteries, était le même il y a 20 ans. Cette voiture ne rencontrera pas le succès espéré car la batterie était trop chère pour permettre une production de masse et sa durée de vie n'était que de 5 ans (Angot, 2015).

Figure 5: BMW E1



(Source : internet)



Le grand succès de la fin des années 90 et début 2000 est la technologie hybride. En effet, Toyota et Honda ont été les premiers constructeurs automobiles à s'orienter vers la commercialisation en masse de véhicules à faible émission de carbone via une technologie de transmission alternative. Ces deux entreprises nippones ont perçu une opportunité de marché pour la technologie hybride. En 1997, ils lancent la Prius I et ciblent la part de marché écologique au Japon. Ce modèle avait la consommation en carburant la plus faible de sa catégorie (3,6l/100 km), mais avait une accélération et d'une vitesse maximale décevante. Après avoir conquis la part de marché japonaise, ils lancent aux Etats-Unis une nouvelle version du véhicule (Prius II) dès l'an 2000. Cette dernière apportait un design plus attrayant et des performances améliorées, entraînant cependant une consommation plus importante (5,1l/100 km). Cette nouvelle version fut bien accueillie par les consommateurs américains, augmentant ainsi rapidement les ventes des véhicules avec ce type de transmission. Par conséquent, Toyota développa la troisième génération, la Toyota Prius III. Ce modèle fut un énorme succès et Toyota en a vendu plus d'un million dans le monde entre 1997 et 2007 (*Dijk et al., 2013*).

Cependant, si l'on observe le nombre de brevets et de lancements de nouveaux véhicules pour la même période donnée, les constructeurs automobiles restent concentrés sur le développement des technologies des ICE. En effet, environ 80% des brevets ont été attribués à des technologies pour des moteurs classiques à combustion, contre seulement environ 20% pour des technologies associées aux véhicules électriques pures ou aux véhicules hybrides (*Oltra, Saint Jean, 2006*).

En conclusion, les constructeurs automobiles ont opté, et optent encore actuellement, pour une stratégie dite de faible risque et à faible coût. Ainsi, les constructeurs automobiles adoptent une politique de conversion des modèles existants en véhicules électriques. Comme l'a annoncé Ford en début de cette année, tous les véhicules Ford auront désormais leur version hybride.

## 2.4 Situation actuelle

Il existe actuellement plus de 1,2 milliard de véhicules immatriculés dans le monde et ce chiffre est en constante augmentation. Pour la seule année de 2015, la production mondiale se montait à 90 millions de véhicules, due principalement au développement économique des pays de la région Asie-Pacifique (*Mounce, Nelson, 2019*).

De ce chiffre vertigineux de véhicules immatriculés, 95% sont catégorisés comme étant des véhicules utilitaires légers, capables de circuler sur une autoroute. Toutefois, la majorité de cette catégorie de véhicules, utilise des moteurs à combustion interne consommant de l'essence ou du diesel. Ainsi, la part du parc automobile mondial alimenté à partir d'énergies alternatives, telles que les batteries électriques ou les piles à combustible à hydrogène, ne représente qu'une minuscule part.

En Europe, la part de marché des véhicules électriques est encore très faible. En 2015, les véhicules de tourisme électriques ne représentaient que 1,2% de toutes les voitures neuves vendues. Toutefois, les ventes de véhicules électriques ont considérablement augmenté, passant de 49'000 en 2013 à 150'000 en 2015. Néanmoins, 90% de ces ventes sont réalisées aux Pays-Bas, au Royaume-Uni, en Allemagne, en France, en Suède et au Danemark (*European Environment Agency, 2016*).

Ainsi, pour faciliter la transition vers un mode de transport plus respectueux de l'environnement, il est important d'observer les points clefs facilitateurs suivants, afin de comprendre les enjeux actuels.

### 2.4.1 Infrastructure

Les constructeurs automobiles créent déjà différents types de véhicules électriques, cependant cela ne permet pas la transition vers une nouvelle mobilité. Il est crucial pour l'adoption de cette nouvelle technologie automobile que l'infrastructure de rechargement soit disponible pour tous les utilisateurs de véhicule électrique. C'est dans ce sens que l'UE suggère que les États membres doivent garantir des points de recharge pour qu'ils soient accessibles au public et offrent une couverture suffisante. Ces stations de recharge devraient donc être installées aux endroits de forte influence comme les parkings, les gares ferroviaires, les aéroports, etc. L'objectif de l'UE est de créer une infrastructure de recharge suffisante pour disposer d'une station de recharge pour 10 véhicules électriques, afin de garantir des niveaux d'utilisation. L'objectif est que les propriétaires de véhicules électriques puissent recharger leur véhicule à travers l'Europe sans difficulté. Un autre objectif est l'interopérabilité et la normalisation de la mobilité électrique afin de faciliter la recharge des véhicules électriques en Europe (*Commission européenne, 2010*).

De cette volonté de l'UE, on observe que les gouvernements nationaux et régionaux ont été davantage impliqués dans la préparation et la mise en place d'infrastructures facilitant l'émancipation de véhicules électriques. Le niveau des financements consacrés à la recherche et au développement est nettement plus important que dans le début des années 2000. Sur la période 2015-2016, des milliers de projets ont eu un budget beaucoup plus important, contre seulement des dizaines de projets dans les années 2000. Les fournisseurs de services publics d'électricité sont désormais beaucoup plus impliqués dans des partenariats afin de faciliter l'adoption de véhicules électriques. Alors que, dans les années 2000, seul le français EDF considérait les véhicules électriques comme une opportunité commerciale. La liste de ces fournisseurs de services publics impliqués dans le développement d'infrastructures, est beaucoup plus importante en 2015, comprenant Energie Ouest Suisse (EOS), Portland General Electric dans l'Oregon, Gas and Electric, ESB d'Irlande, Tokyo Electric Power Company, etc. Ces grandes organisations sont d'importants catalyseurs pour la mise en place d'infrastructures de recharge et leur implication dans la mobilité automobile de demain sera d'autant plus importante dans le futur (*Dijk et al., 2013*).

### 2.4.2 Conception du marché électrique

Comme souligné précédemment, l'un des objectifs ultimes de la Commission européenne, est de parvenir à une mobilité sans émission d'ici 2050 pour les usagers, ainsi que pour les transports commerciaux. Néanmoins, la réduction des émissions résultant de l'introduction de véhicules électriques dépend fortement de la source d'électricité utilisée (*Kannan, Hirschberg, 2016*). Selon une étude réalisée par l'Öko-Institut en 2012, les prévisions concernant la croissance en énergies renouvelables et la quantité totale prévue disponible d'ici 2030, ne sera pas suffisante pour répondre à la demande en énergie (*Öko-Institut, 2012*). De ce fait, cette source d'électricité sera probablement d'origine nucléaire et renouvelable (*European Environment Agency, 2016*). Mais depuis que l'Union européenne a émis le souhait de sortir de l'énergie nucléaire et que des pays comme l'Allemagne, la Belgique, l'Italie et l'Espagne, ont légiféré dans ce sens, les fournisseurs d'électricité doivent maintenant faire face au défi de répondre à la demande accrue en énergie sans l'aide du nucléaire. Afin de résoudre ce problème, la Commission européenne a pour objectif de relier les secteurs des transports et de l'énergie. Cette relation est particulièrement importante en raison de l'utilisation croissante prévue de l'électricité dans le secteur des transports, ce qui peut causer des problèmes de stabilité dans le réseau électrique lors des pics de demande élevée (*Commission européenne, 2010*).

### 2.4.3 Politique d'incitation

Afin de limiter la pollution en milieu urbain, les gouvernements locaux mettent actuellement en place divers plans d'action afin de résoudre les difficultés de la gestion du trafic et leurs problèmes sous-jacents. Ces stratégies peuvent être regroupées sous différentes catégories :

#### Zones sans voitures

Ces dernières permettent aux autorités civiles de limiter la pollution en forçant ses citoyens à utiliser d'autres moyens de mobilité tels que les transports en commun. Il existe différents degrés de limitation des véhicules en centre urbain.

Cet effet de piétonisation prend de plus en plus d'ampleur en Europe. Ainsi, la majorité des villes accorde un accès restreint aux automobiles, et de ce fait, crée des zones piétonnes, comme le quartier du Flon à Lausanne. Mais il existe également quelques municipalités ayant optés pour une interdiction complète comme par exemple la ville de Zermatt ou encore la ville de Venise qui utilise uniquement les transports maritimes et refuse l'aménagement de son territoire afin de permettre une mise en place de routes.

De plus, certaines autorités locales ont mis en place des journées sans voiture pour démontrer les avantages à leurs citoyens. Bogotá, par exemple, organise le plus grand événement au monde avec une semaine sans voiture, couvrant l'ensemble de la ville.

#### Fiscalisation de la congestion

La méthode la plus utilisée est le péage urbain. Ce dernier est une forme de tarification routière, qui oblige les conducteurs à payer des frais monétaires pour traverser certaines zones urbaines. Nombreux sont les économistes préconisant ce genre de tarification, mais son efficacité économique fait encore débat (*Raux et al., 2012*). Le péage urbain impose aux utilisateurs de la route un coût marginal supplémentaire due la congestion, qui est entièrement supporté par ces derniers afin de les dissuader de circuler en véhicules privés dans les centres-villes. Cette tarification peut être fixe ou variable, en fonction de l'augmentation de la congestion (*Button, 2004*).

Une variante possible peut être la mise en place de crédits de congestion échangeables, permettant l'échange de droit de déplacement entre les usagers de la route afin de réguler les flux (*Yang, Wang, 2011*).

De ce fait, cette tarification peut entraîner sur le long-terme, des économies pour les voyageurs ainsi que la réduction des taux de motorisation des usagers (*Raux et al., 2012*). Cependant, les aspects clefs pour le succès de la mise en place d'un péage urbain repose non seulement sur sa conception de base et sa mise en œuvre, mais également sur son acceptation par les usagers (*Jaensirisak et al., 2005*). Le système le plus accompli est certainement le péage urbain de Londres, introduit en 2003. Ce dernier est l'un des plus grands péages urbains au monde. Son objectif principal est de réduire le trafic dans la zone centrale londonienne et a également permis de mobiliser des fonds afin de développer le système de transport en commun (*Li, Hensher, 2012*).

### Zones à faibles émissions

D'autres autorités locales tablent sur la mise en œuvre de zones à faibles émissions (ZFE). Le principe est de créer une zone à accès restreint pour tout véhicule émettant des gaz polluants au-dessus d'un seuil donné. Ce genre de moyen de dissuasion peut également se décliner en différentes catégories d'intransigeance, comme les zones d'émissions ultra-basse (ZEUB) et des zones zéro émission (ZZE). Les ZFE, ZEUB et ZZE ont ainsi pour objectif d'améliorer la qualité de l'air dans la région en favorisant des méthodes de mobilité plus éco-responsable, telle que la mobilité électrique. Les premières ZFE en Europe ont été établis à Stockholm en 1996. Il existe actuellement plus de 200 villes et villages dans 10 pays d'Europe ayant mis en place ou se préparant à introduire différents types de ZFE. (*Holman et al., 2015*).

Mais il est également important de noter que les Etats n'ont pas que des moyens de répréhension à leur disposition. Actuellement, beaucoup d'autorités civiles mettent en place des outils pour aider l'émancipation d'une mobilité partiellement ou complètement électrique. La Norvège est l'exemple le plus parlant. Le pays alloue un budget conséquent afin de permettre à ses citoyens d'acquérir des véhicules électriques, notamment aux moyens d'aides financières, de crédits fiscaux, d'infrastructures de rechargement gratuites, la possibilité d'emprunter les voies de bus, etc.

La Suisse a également essayé de promouvoir et de démontrer l'utilité des véhicules électriques. Ainsi, entre 1995 et 2001, un projet initié par l'Office Fédéral de l'Energie a été mis en place dans la ville de Mendriso au Tessin. Ce dernier a permis l'acquisition de 396 EV (174 voitures, 20 véhicules légers, 97 scooters et 96 vélos électriques). Deux tiers des véhicules précités appartenaient à des particuliers et un tiers à des entreprises (*Hoogma et al., 2002*). Cependant, il est à noter que le programme reposait en grande partie sur des subventions (50 à 60% du prix d'achat) et de ce fait, lorsque le projet a été arrêté et que les subventions ont cessé, l'enthousiasme pour cette catégorie de véhicule s'est également estompée. Un autre exemple tout aussi frappant se passe durant la crise financière de 2008. En effet, durant cette période, les aides de financement ayant constamment été réduites, le nombre de nouveaux véhicules vendus (électriques ou non) a drastiquement diminué. Ceci témoigne donc de l'impérativité des crédits à l'achat pour les consommateurs.

#### **2.4.4 Stratégie « Transport 2050 »**

L'objectif pour la plupart des autorités publiques est d'améliorer la mobilité et la qualité de l'air local. De ce fait, la Commission européenne a élaboré une stratégie appelée « Transport 2050 » pour combattre l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et pour réduire la dépendance au pétrole, tout en renforçant l'innovation et la compétitivité (*Commission européenne, 2011*). La partie principale concerne le secteur commercial car ce dernier est le plus grand générateur d'émissions de CO<sub>2</sub> du fait de la logistique du fret. Ainsi, il est primordial de garantir un système de transport de fret urbain efficace (*Quak et al., 2016*).

Par conséquent, les objectifs sont de réduire de moitié l'utilisation des véhicules de type utilitaire à carburant conventionnel d'ici 2030, de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans le transport des marchandises et d'éliminer complètement les voitures fonctionnant aux combustibles fossiles d'ici 2050.

Afin de soutenir cette tendance et d'atteindre les objectifs de l'UE, une série de mesures a été prise pour forcer les constructeurs automobiles dans ce sens. Ainsi, les objectifs pour 2015 imposaient que les nouvelles voitures immatriculées dans l'UE ne dépassent pas une moyenne de 130g de CO<sub>2</sub> par kilomètre (*ICCT, 2014*). Ces objectifs avaient déjà été atteints en 2013 et le niveau d'émissions de CO<sub>2</sub> en 2014 a continué de diminuer pour s'établir à 123,3g/km en moyenne (*European Environment Agency, 2016*) et le niveau d'émissions moyen des voitures neuves en 2015 est tombé à 119,5g/km. Ceci indiquerait donc la viabilité de cette stratégie et prouve son efficacité. Ainsi, les « objectifs 2021 » imposant de limiter la moyenne du parc de toutes les nouvelles voitures à 95g/km, pourrait être respectés. De plus, Le Parlement européen a voté, en début de cette année, la prochaine réglementation de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des nouveaux véhicules vendus au sein de l'UE, dont le taux doit entrer en vigueur en 2030. Le conseil s'est entendu sur une baisse d'environ 34% des rejets polluant par rapport au taux prévu pour 2021. Ainsi, la norme en 2030 pour les véhicules sera de 59g/km et une baisse de 15% devra être atteinte d'ici 2025, soit 81g/km.

Il ne fait pas doute que la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ne se traduit pas directement par une croissance correspondante du marché des véhicules électriques. À l'heure actuelle, la grande majorité des nouvelles voitures européennes restent encore à essence ou au diesel, avec une part de marché totale de 93%, tandis que les parts des véhicules hybrides ou 100% électriques s'élèvent à 1,8% dans l'UE en 2017 (*ICCT, 2017*).



### **2.4.5 Avenue 2020**

De cela en découle des projets concrets tels qu'Avenue 2020. Ce dernier est financé par l'UE et a pour objectif de concevoir des concepts réels de transports urbains électriques et autonomes. Ces démonstrations de flottes de minibus électriques et autonomes permettent aux utilisateurs de transports publics, de revisiter les services proposés. Le principe initial est de prendre en compte leurs besoins spécifiques et leurs contraintes de temps afin d'essayer d'adapter les minibus aux solutions existantes. Les tests sont réalisés dans quatre villes européennes (Genève, Lyon, Copenhague et Luxembourg) et visent principalement des zones urbaines à faible et moyenne densité et demande. Par la suite, ces concepts seront implémentés dans trois autres villes. Ainsi, le projet introduit un changement de paradigme du transport public avec un service à la demande. Ce modèle permet aux transports en commun d'avoir une dimension multimodale en combinant les transports en commun conventionnels avec de nouveaux modèles de services de transport partagés (*Avenue 2020, 2018*).

## **2.5 Barrières des véhicules électriques**

Afin de comprendre les raisons de la diffusion d'une innovation, il est primordial de comprendre son utilisation. Ceci implique une compréhension des facteurs liant l'innovation et les individus. Ainsi avec une totale compréhension des différents facteurs, les gouvernements pourront concentrer leurs efforts sur les aspects cruciaux à l'émancipation d'une nouvelle mobilité.

### 2.5.1 Manque d'infrastructure de rechargement

La croissance rapide des véhicules électriques en Europe nécessite un examen complet des capacités infrastructurelles disponibles. Quand on parle d'infrastructure, il s'agit principalement du réseau de bornes de recharge, dont dépend la mobilité des véhicules électriques. Cela est d'autant plus vrai que l'infrastructure de rechargement semble constituer un obstacle majeur à la diffusion du marché et la principale source d'inquiétude des consommateurs face à la modification de leurs préférences et au manque de disponibilité due au temps nécessaire au rechargement des batteries (*Barisa et al., 2016 ; Sierchula et al., 2014*).

Le simple fait de devoir choisir entre les trois différents types de bornes de recharge électriques pour l'équipement des voies publiques qui existe actuellement, est prédéterminant.

- Le type normal, ce qui équivaut à la consommation d'énergie d'un système de chauffage et ne nécessite aucune modification du réseau électrique. Cependant, pour recharger les batteries d'un véhicule électrique, cela nécessite au minimum 8 heures.
- Le type accéléré, qui représente la consommation énergétique d'un petit bâtiment, implique dans la plupart des cas une certaine adaptation du réseau électrique. Avec ce type de borne de rechargement, les batteries d'un véhicule électrique prennent de 2 à 4 h pour recharger.
- Le type rapide, avec une consommation énergétique égale à un bloc de quartier. Dans ce cas, il est obligatoire de modifier le réseau électrique en place. Cependant, grâce à l'utilisation de ce genre de borne, il suffit de 30 minutes seulement pour une charge complète (*EDF collectivité, 2016*).

En effet, la mise en place de ce genre d'infrastructure sur un territoire donné pour les sociétés responsables, demande de transformer les processus industriels. Cela implique alors d'importants investissements, ce qui peut créer une réticence de leur part. Ainsi il est plus judicieux de laisser cette tâche aux services publics comme l'ont fait la plupart des pays européens (Danemark, Pays-Bas, Allemagne, Royaume-Uni, etc.). Certains membres de l'UE allouent des subventions fiscales pour la construction de stations de recharge, mais d'autres, notamment le gouvernement allemand, sont plus enclins à soutenir la R&D dans le développement de technologies de recharge plus efficaces, tout en encourageant les autorités locales à mettre en place une nouvelle infrastructure.

De plus, pour qu'une infrastructure de rechargement soit suffisante et optimale, cela ne peut être obtenue uniquement grâce à la disponibilité d'une base de données étendue sur les conducteurs et leurs habitudes de conduite (habitudes de déplacement, itinéraires, horaire, etc.). Et c'est sur la base de ces informations que l'optimisation du réseau de stations de recharge et de ses systèmes de gestion pourraient être possible (*Rahman et al., 2016*).

### **2.5.2 Restrictions économiques**

Selon une étude, le prix plus élevé des voitures électriques comparé aux voitures conventionnelles, est l'un des principaux obstacles à la diffusion des véhicules électriques dans les flottes métropolitaines (*Barisa et al., 2016*). En effet, le prix des véhicules électriques est considérablement plus élevé et ne présente pas de réels avantages compensatoires directs pour les utilisateurs. En revanche, d'un point de vue économique, le coût total de la propriété de véhicules électriques est inférieur à celui des véhicules à combustion interne classiques. Ceci est principalement dû aux économies de carburant et à la réduction des coûts de maintenance. Cependant, de nombreux utilisateurs potentiels de véhicules électriques ne sont pas conscients de ces avantages à long terme et comparent les véhicules électriques aux véhicules classiques exclusivement sur le prix d'achat. En outre, de nombreux acheteurs potentiels de véhicules électriques ne sont pas au courant des divers programmes d'encouragement gouvernementaux. Une telle prise de conscience est un des facteurs clefs pour faciliter l'acceptation des véhicules électriques (*Haddadian et al., 2015*).

### 2.5.3 Restrictions techniques

Faire le plein de son véhicule est à la fois simple et rapide. Il suffit d'un simple détour pour avoir un accès à une station-service durant son itinéraire et nécessite que quelques minutes. À cet égard, les conducteurs craignent que leur flexibilité ne soit sérieusement affectée si cela les oblige à calculer à l'avance dans quelle mesure ils ont la capacité de se déplacer et de prendre en compte le temps nécessaire pour recharger le véhicule. Le fait d'atteindre ce niveau de confort pour un véhicule électrique reste un défi de taille. Ainsi, de nombreuses études considèrent les restrictions techniques, telles que le temps de charge, la technologie de batterie ou l'autonomie de la batterie électrique, comme étant des obstacles majeurs à la mise en œuvre efficace du marché des véhicules électriques (*Barisa et al., 2016 ; Haddadian et al., 2015 ; Sierzychula et al., 2014*).

Selon de nombreuses études de marché, les conducteurs de voitures conventionnelles s'attendent désormais à une autonomie de l'ordre de 500 km par plein d'essence. En revanche, le marché des véhicules électriques, en termes de distance, s'étend de 140 km pour la classe Mercedes-Benz B à 540 km pour la Tesla modèle S P100D. De plus, le dernier modèle de Nissan Leaf, par exemple, peut être acheté avec une option pour un rechargement rapide, ce qui réduit le temps d'attente de 8 heures à 30 minutes. Cependant, même avec cette option, le temps nécessaire pour faire le plein d'essence est six fois moins long que celle d'un moteur électrique dans la même catégorie de petite voiture citadine.

Ainsi, pour augmenter la distance potentielle des véhicules électriques, cela nécessitera d'améliorer la capacité de stockage d'énergie tout en baissant le prix de production des batteries, ce qui se répercutera dans les coûts d'acquisition, ainsi que la taille et le poids du véhicule. Étant donné les dépendances susmentionnées, la conclusion est que l'amélioration de la quantité d'énergie par unité de masse pouvant être stockée dans un véhicule est d'une importance capitale pour le développement de véhicules électriques.

#### 2.5.4 Manque de confiance, d'informations et de connaissances

En réalité, comme l'a souligné Marletto, il n'y a pas de recherche expliquant les types de représentations que les gens ont d'une mobilité électrique, ce qui permettrait une meilleure prise en compte des utilisateurs (Marletto, 2014). Cependant, des recherches ont démontré que les connaissances et l'expérience personnelles facilitent l'acceptation EV (Barth et al., 2016 ; Schmalfuß et al., 2017), alors que le manque de connaissances et d'expérience constituent une barrière à l'émancipation de ces derniers (Egbue, Long, 2012 ; Graham-Rowe et al., 2012 ; Krause et al., 2018).

De ce fait, nombreux sont les acheteurs potentiels qui manquent d'informations suffisantes sur cette thématique, ou ont déjà une opinion biaisée. En particulier, les personnes avec un manque de connaissances sur le changement climatique, ont une perception réduite des avantages des véhicules électriques (Shao et al., 2016).

De plus, les acheteurs potentiels sont septiques et ne croient pas à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'utilisation de véhicules électriques. Certains craignent que la mobilité électrique ne conduise à une augmentation de la demande en énergie électrique et donc à une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> afin de satisfaire cette demande accrue (Öko-Institut, 2012). Par conséquent, de nombreux consommateurs potentiels s'interrogent sur la « propreté écologique » de la mobilité électrique en raison du manque d'informations concernant la production d'énergie pour recharger les véhicules électriques. Outre l'augmentation de la demande en énergie, les conducteurs de EV potentiels considèrent l'élimination des piles usagées comme nocive pour l'environnement, ce qui accroît l'incertitude quant aux avantages pour l'environnement (Haddadian et al., 2015).

Toutefois, ces préoccupations pourraient être atténuées en rassurant les consommateurs et en leur fournissant des données suffisantes sur le fait que les batteries au lithium-ion utilisées dans les véhicules électriques actuels sont considérées comme des déchets solides, au contraire des autres types de batteries, qui sont réglementées comme dangereuses. De plus, le recyclage des ions lithium constitue le principal objectif des industries et des gouvernements, avec des développements et des efforts prometteurs dans la gestion des déchets (Winslow et al., 2018).

### 2.5.5 Approvisionnement en électricité

Comme indiqué précédemment, la croissance de la demande d'électricité est une des préoccupations des consommateurs. Étant donné que de nombreux gouvernements envisagent de sortir de la production d'énergie nucléaire, l'augmentation de la demande en électricité est considérée comme un obstacle possible. Mais comme les sources d'énergie renouvelables ne seraient pas suffisantes, les centrales alimentées aux énergies fossiles et l'électricité importée, pourraient répondre à la demande excédentaire (*Kannan, Hirschberg, 2016 ; Öko-Institut, 2012*). Un autre obstacle réside dans le fait que l'électricité peut ne pas toujours être disponible à l'avenir en période de pointe, et que la distribution de l'énergie peut poser des problèmes (*Kannan, Hirschberg, 2016 ; Öko-Institut, 2012 ; Commission européenne, 2010*). Par conséquent, le prix international de l'énergie peut fluctuer plus fortement (*Kannan, Hirschberg, 2016*). Cependant, des résultats de recherches récentes ont conclu le contraire dans de nombreux cas, révélant que même des réseaux électriques limités seraient en mesure de gérer le rechargement d'un grand nombre de véhicules électriques, à condition que le rechargement soit contrôlé pendant les périodes creuses ou de forte offre. Ces résultats mettent en évidence le fait que les décisions politiques et une gestion efficace dans le secteur de la production d'électricité sont la clef qui affecte le rapport coût-efficacité de la mobilité électrique (*Kannan, Hirschberg, 2016*).

### 2.5.6 Approvisionnement en matières premières

Avec le développement des véhicules électriques, des quantités considérables de matières premières seront nécessaires à la production. Ces ressources clefs sont dans certains cas des métaux rares et leur apport peut parfois être irrégulier. L'étude de l'Institut Öko, par exemple, met en évidence le lithium et le cobalt, utilisés dans la fabrication de batteries, comme des minéraux de terres rares (*Öko-Institut, 2012*). Par conséquent, le lithium, étant une ressource restreinte dans la nature, est difficile à produire et seuls quelques pays disposent de réserves naturelles suffisantes pour répondre à la demande croissante du marché international de la mobilité électrique.

La plus grande partie des pays producteurs se trouve en Amérique Latine et se compose de l'Argentine, la Bolivie et le Chili. Ils se partagent à eux seuls 89% des réserves mondiales de saumures de lithium et la Bolivie représente 52% de ces réserves (*Sauer et al., 2015*).

Afin de pouvoir produire du lithium, il faut extraire le carbonate de lithium qui peut se trouver dans des roches ou des lacs salés. L'extraction via des roches de type spodumène<sup>2</sup> peut contenir de fortes concentrations de lithium allant de 1 à 4%. En revanche, l'extraction et le séchage des saumures<sup>3</sup> présentent dans les lacs salés, peuvent varier dans leur teneur en carbonate de lithium, allant de 0,017 à 0,15% selon les lacs. Il est d'autant plus important de comprendre que les techniques d'extraction industrielles atteignent un rendement moyen de 70% du contenu chimique. Il est également important de noter que pour l'exploration de nouveaux gisements, l'analyse des sols et l'évaluation de la viabilité exigent 2 à 3 ans après la mise en place d'une installation pilote (*Sauer et al., 2015*).

De plus, ces types d'extraction émettent une forte pollution et causent des dégâts environnementaux dans la chaîne de production à cause du traitement chimique permettant de séparer le lithium de la matière première et l'intensité en besoin d'énergétique du processus (*Sauer et al., 2015*).

En 2015, La production annuelle mondiale totale s'élevait à plus de 21'300 tonnes de carbonate de lithium avec un coût de production de lithium de USD 6 à 8/kg avec le traitement des spodumènes et de USD 2 à 3/kg pour les saumures. Cependant, ceci ne suffit qu'à produire environ 2 millions de batteries et ainsi permet de ne pouvoir satisfaire que 3% des nouveaux véhicules immatriculés annuellement.

---

<sup>2</sup> Le spodumène est un minéral de la classe des silicates

<sup>3</sup> La saumure est une solution aqueuse d'un sel donné

Ainsi, la question est de savoir s'il existe une quantité suffisante en matière première afin de pouvoir satisfaire la demande du marché. Il existe de nombreuses recherches à ce sujet et les chiffres sont très controversés car les différents chercheurs, organisations et entreprises, se basent sur des valeurs différentes telles que la présence hypothétique des gisements et la taille des réserves exploitables. Une étude a compilé de nombreuses données de recherches et en a déduit que les réserves hypothétiques pouvaient aller de 37,1 à 43,6 millions de tonnes de ressources de lithium et plus en détail, 62% serait issu du traitement des saumures (lacs salés) et 38% sous forme de minéraux rocheux (spodumène). Ainsi, suivant ce chiffre de ressources disponibles, cela permettrait la construction de batteries Lithium-Ion pour 12,3 à 14,5 milliards de véhicules électriques, soit environ 10 fois le nombre actuel de véhicules circulant dans le monde (*Gerssen-Gondelach, Faaij, 2012*).

### **2.5.7 Diversité limitée de la gamme de véhicules**

La diversité limitée de la gamme de véhicules électriques d'aujourd'hui pourrait également être considérée comme un autre obstacle à l'acceptation du marché (*Barisa et al., 2016 ; Haddadian et al., 2015*). En effet, les quelques modèles sur le marché et leurs fonctionnalités limitées ne répondent pas aux besoins et aux préférences des potentiels consommateurs (*Haddadian et al., 2015*).

Il est d'autant plus vrai qu'en 2017, en France, les EV ne représentaient qu'une toute petite part du marché des voitures de tourisme légers (*CCFA, 2018*). En effet, selon cette étude, la part des ventes de véhicules électriques ne représentaient que 1,2%. Ce phénomène semblerait s'expliquer du fait que les personnes souhaitant acheter un nouveau véhicule, 48% d'entre eux auraient tendance à préférer une voiture d'occasion, alors que 37% recherchent des voitures neuves des plus grandes marques (*TNS Sofres, 2014*). Ainsi, il faudra un certain temps afin qu'un marché de EV d'occasion puisse se mettre en place et ainsi pouvoir réduire cette barrière à l'émancipation.



## 2.6 Motivateurs des véhicules électriques

Selon une étude britannique, l'intention d'adopter un nouveau type de transport, véhicules électriques précisément, est plus forte si l'acheteur potentiel a une perception positive des attributs fonctionnels, hédoniques et symboliques (*Schuitema et al., 2013*).

La perception des qualités fonctionnelles (pragmatiques) ou non-fonctionnelles (hédoniques) est à l'origine des conséquences sur des jugements et des comportements de l'utilisation de EV (*Mahlke, 2008 ; Lallemand et al., 2016*). Ces qualités pragmatiques nous permettent d'atteindre des objectifs par l'action (appelés objectifs). Il est donc nécessaire de mesurer, la facilité de l'utilisation du système, sa structure, de sa prévisibilité et de sa robustesse pour comprendre son aspect fonctionnel. La qualité hédonique, quant à elle, est non instrumentale et se réfère au plaisir du consommateur. Elle est directement liée à l'utilisateur et se base sur le potentiel du véhicule à offrir un sentiment de plaisir. La capacité du système à stimuler l'utilisateur, à le connecter avec les autres, à lui donner un sentiment de contrôle ou lui conférer un statut social plus élevé, est liée aux aspects hédoniques qu'offre un véhicule électrique (*Lallemand et al., 2016*).

### 2.6.1 Aspects environnementaux

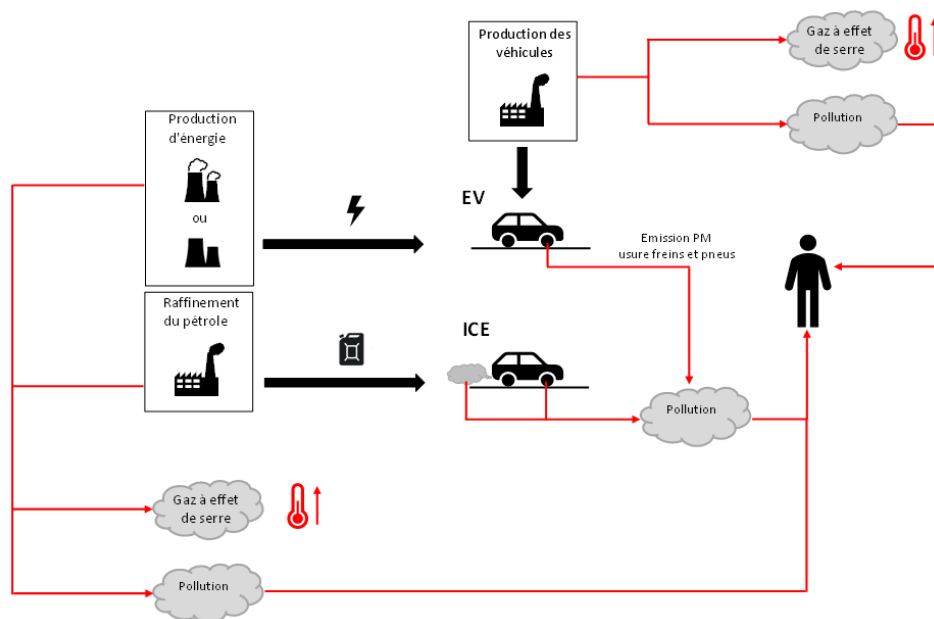
De nombreuses études ont examiné le fait que les aspects environnementaux sont le principal facteur de motivation pour l'achat de véhicules électriques. L'étude de Barisa démontre que la réduction de la pollution de l'air au niveau local constituait un facteur de motivation essentiel pour les particuliers, mais également pour les municipalités (*Barisa et al., 2016*). Il émerge désormais une tendance des gouvernements locaux à électrifier leur parc automobile afin d'augmenter le bien-être des citoyens et de démontrer les bienfaits d'une mobilité électrique. Un exemple simple est celui des services de police, tels que les services de police de Bâle-Ville, Nuremberg, Los Angeles, Miami, Doha, etc.

De plus, une contribution aux objectifs nationaux des Etats en matière de climat et d'énergie semble être un facteur de motivation supplémentaire (*Barisa et al., 2016*). Dans ce contexte, la consommation globale d'énergie fossile peut être considérablement réduite sur un plan national grâce aux VE.

Un autre facteur de motivation environnementale est la contribution à « l'image verte » souhaitée par l'utilisateur et le gouvernement, ainsi remplissant des besoins hédoniques et augmentant la valeur statutaire du consommateur .

Le graphique ci-dessous représente la relation entre les différents types de véhicules et leur impact environnemental, en tenant compte de tous les facteurs, tels que le processus de production des véhicules, la production d'énergie, les émissions de pollution, etc. Il est important de noter que pour les EV, l'impact écologique dépend fortement du contexte et de l'environnement dans lequel il est utilisé.

Figure 6: Pollution globale d'un véhicule



Source adaptée de (Requia et al., 2018)

Un autre aspect fondamental des véhicules électriques est le fait qu'ils n'émettent pas de bruit. Ainsi, cela permettrait la vie plus supportable dans les villes métropolitaines et pourrait entraîner une réduction du nombre de personnes fuyant vers des zones plus rurales.

## 2.6.2 Aspects économiques et encouragements de l'Etat

Il est important de noter que pour l'émancipation de ce genre de mobilité, il existe des aspects motivateurs non négligeables d'un point de vue économique. Ces derniers sont par exemple les économies en termes de coûts de carburant. Dans ce contexte, il est suggéré que l'accentuation du coût de l'électricité par rapport aux combustibles fossiles traditionnels peut avoir un impact sur la décision d'achat de véhicules électriques (*Haddadian et al., 2015*). Un avantage également des véhicules électriques est le nombre moins élevé de composants de la motopropulsion. De ce fait, l'entretien mécanique du véhicule coûte moins cher qu'un véhicule traditionnel. Comme nous pouvons le voir dans les illustrations ci-dessous, le système électrique n'ayant pas besoin de tout un système de plomberie pour le carburant ou d'un système d'échappement, ceci réduit grandement le nombre de composants.

Figure 7: Pièces moteur d'un EV



(Source : internet)

Figure 8: Pièces moteur d'un ICE



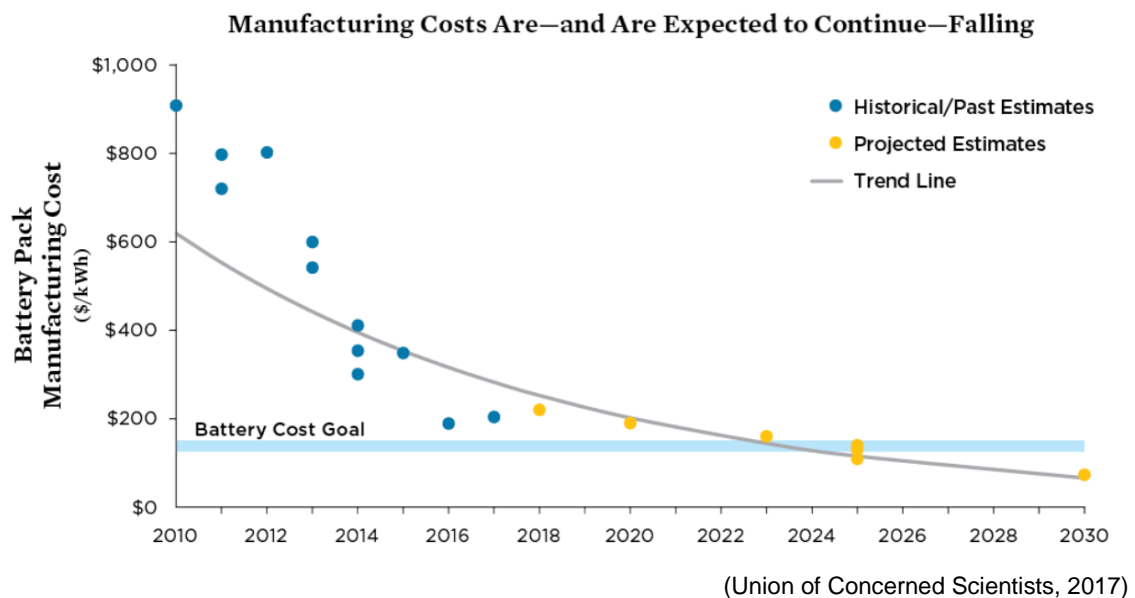
(Source : internet)

De plus, les politiques publiques de ville intelligente, plus particulièrement celles liées à la mobilité publique ont permis l'accroissement des financements de la part de nombreux gouvernements locaux, nationaux et internationaux au cours des dernières décennies. De ce fait, elles ont un objectif non négligeable impactant positivement l'innovation urbaine et donc, stimulent l'innovation en termes de mobilité électrique. Cela permet l'augmentation des connaissances et de la R&D, favorisant cette nouvelle technologie (*Caragliu, Del Bo, 2019*).

De ce fait, le prix de production des batteries lithium-ion a fortement baissé à mesure qu'a augmentée la demande du marché. Les fabricants ont mis au point des méthodes de fabrication plus efficaces et rentables, ainsi augmentant l'échelle de production. Par exemple, lorsque les premiers véhicules électriques destinés au grand public ont été introduits en 2010, le coût des batteries s'élevait à environ USD 1'000 par kilowattheure (kWh). Aujourd'hui, un bloc de batterie d'une Tesla model 3 coûterait environ USD 190/kWh et environ USD 205/kWh pour une Chevrolet Bolt 2017 selon les spécifications données par les constructeurs automobiles. Donc en 6 ans, le prix du kilowattheure d'une batterie lithium-ion a baissé de plus de 70% (*Union of Concerned Scientists, 2017*).

Selon les prévisions (cf. graphique ci-dessous), les véhicules électriques coûteront le même prix d'achat ou même un prix inférieur qu'un véhicule à essence lorsque le prix des batteries tombera dans une fourchette de USD 125 et 150/kWh. Les analystes prévoient que cette parité de prix pourrait être atteinte dès 2020, tandis que d'autres études prévoient que le prix d'un bloc de batteries lithium-ion baisserait à USD 73/kWh d'ici 2030 (*Union of Concerned Scientists, 2017*).

Figure 9: Evolution des coûts de production de batteries



En attendant une parité du prix d'achat réelle entre électrique et conventionnel, les gouvernements envisagent de mettre en place différents types d'incitations pour soutenir l'émancipation du marché des véhicules électriques. Ces incitations peuvent être regroupées dans deux catégories différentes ; des mécanismes monétaires et non monétaires.

Les incitations monétaires peuvent être par exemple, des primes d'achat, des primes « à la casse », des programmes de prêts financiers, une mise en place de modèles d'amortissement adaptés aux véhicules utilitaires électriques, une mise en place de tarifs de nuit pour recharger les EV, et autres avantages fiscaux (*Sierzchula et al., 2014*). Par exemple, le gouvernement américain a mis en place un « Federal Tax Credit » afin de pouvoir diminuer artificiellement l'écart des prix d'achat. Ainsi, nous pouvons observer dans le tableau d'exemples ci-dessous que ce type d'incitation monétaire est efficace afin d'augmenter l'attractivité des véhicules électriques, relatif au prix.

Tableau 1: Comparatif des aides gouvernementales

|                      | Ford Focus électrique | Ford Focus Titanium | Toyota Prius Prime Plus | Toyota Prius One | VW eGolf  | VW Golf S |
|----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|------------------|-----------|-----------|
| Transmission         | Plug-in               | Essence             | Plug-in                 | Hybride          | Plug-in   | Essence   |
| Prix de vente        | \$ 31'075             | \$ 24'075           | \$ 27'100               | \$ 23'475        | \$ 28'995 | \$ 19'895 |
| Aide gouvernementale | \$ 7'500              | ---                 | \$ 4'502                | ---              | \$ 7'500  | ---       |
| Total                | \$ 23'575             | \$ 24'075           | \$ 22'598               | \$ 23'475        | \$ 21'495 | \$ 19'895 |

(Union of Concerned Scientists, 2017)

De plus, les incitations non monétaires comprennent quant à elle des places de stationnement réservées aux véhicules électriques, la possibilité de circuler sur les voies de bus, la construction de voies de circulation réservées, la mise en place ou l'agrandissement des zones de circulation à émissions réduites, l'utilisation de structures de recharge publiques, la gratuité de l'électricité sur les lieux de travail gouvernementaux, etc. (*Sierzchula et al., 2014*). Les incitations non monétaires ont tout de même un réel impact économique indirect car elles permettent la croissance économique, l'amélioration de la qualité de la vie, du bien-être général du citoyen et l'augmentation de son statut social.

A l'inverse, l'Etat peut mettre en place des taxes et des restrictions plus sévères pour les véhicules classiques constituant ainsi des incitatifs à l'utilisation de véhicules électriques. Il est donc fondamental de bien concevoir ces incitations afin de développer davantage l'acceptation des EV dans le secteur automobile.

Finalement, les Etats peuvent rendre les transports en commun plus attrayants au travers des Park&Ride (P+R). Le principe est que les usagers de la route se garent en dehors des villes et prennent les transports publics afin de se rendre au centre-ville, évitant ainsi la congestion urbaine. L'objectif visé est d'induire un transfert des modalités alternatives à la voiture grâce à une infrastructure adaptée à l'utilisation de mobilité « lente ».

### 2.6.1 Aspects fonctionnels

Un des aspects fonctionnels essentiels d'un véhicule électrique est la capacité de le recharger chez soi plutôt que dans une station-service ou à une borne de charge (*Axsen et al., 2013*). De cet aspect, il est possible de mettre en place un système de rechargement intelligent facilitant la procédure et permettant d'équilibrer l'offre d'énergie du réseau électrique avec la demande en période de pointe et hors pointe. En effet, les batteries des EV peuvent être utilisées comme espace de stockage d'énergie et servir de réserve pendant les périodes inactives du véhicule grâce à l'aide de systèmes de gestion de l'électricité basés sur un réseau intelligent (V2G). Le principe du V2G (Vehicle to Grid) est que les batteries du véhicule électrique puissent être raccordées au réseau électrique afin de servir de solution de stockage d'énergie. Ainsi, pour les fournisseurs d'électricité, l'électrification de la mobilité amène une solution d'offre et de demande en période creuse, ce qui réduira la charge qui pèse sur le réseau pendant les heures de pointe et permettra ainsi de diminuer la facture d'énergie pour le consommateur. De ce fait, les véhicules électriques peuvent devenir le lien entre l'énergie et son transport.

De plus, les véhicules électriques ont généralement un centre de gravité plus bas que les véhicules classiques, en raison du poids des batteries qui se trouvent au plus bas dans le châssis du véhicule. Ceci les rend moins susceptibles de se renverser et améliore souvent la qualité de conduite. Cependant, les EV doivent subir les mêmes tests de sécurité et respecter les normes de sécurité requises pour les véhicules classiques. Par exemple, le Tesla Model X est le premier SUV<sup>4</sup> à recevoir la note maximale de 5 étoiles à toutes les catégories de crash-test de la NHTSA<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Sport utility vehicle (SUV) est un véhicule 4x4 sportif

<sup>5</sup> National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) est l'administration américaine responsable en matière de sécurité routière

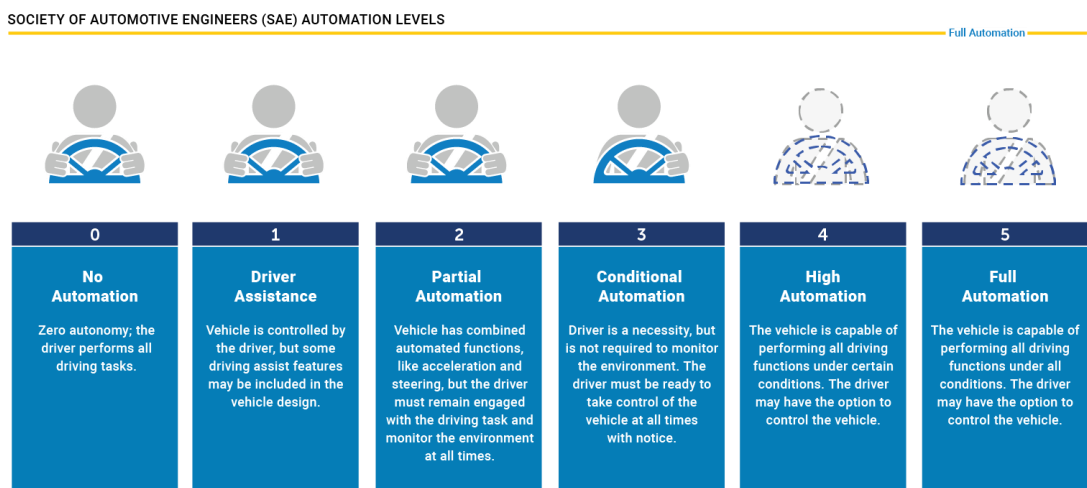
### 3. Voiture autonome

#### 3.1 Qu'est-ce que la mobilité autonome ?

Quand nous faisons allusion aux voitures autonomes, on s'imagine comme une technologie naissante et en pleine expansion. En réalité, cela fait plus de soixante ans que ce procédé est étudié et développé. En 1958, un prototype de véhicule autonome était testé sur une route dans l'état du Nebraska. Le RCA Labs avait développé une voiture pouvant se diriger de manière autonome au moyen de fils électriques encastrés dans la chaussée, transmettant à des capteurs montés sur le véhicule, toutes les informations inhérentes à la circulation (*Mounce, Nelson, 2019*).

Cependant, cet exemple démontre parfaitement qu'il est important de définir ce qu'est un véhicule autonome. En effet, ledit véhicule n'est pas réellement autonome car les câbles électriques est le composant primordial pour le succès de ce prototype, sans quoi la voiture ne pourrait se diriger en parfaite autonomie. C'est pour cela, que le Society of Automotive Engineers (SAE) a développé une hiérarchie des niveaux d'autonomie des véhicules, qui est largement utilisée à travers le monde désormais. Cette échelle varie d'un niveau d'autonomie allant de 0 à 5, comme présenté ci-dessous (*Shuttleworth, 2019*).

Figure 10: Niveaux d'autonomie des véhicules



(Shuttleworth, 2019)

### Niveau 0

Aucune autonomie ; le conducteur effectue toutes les tâches inhérentes à la conduite.

### Niveau 1

Assistance à la conduite ; le véhicule est contrôlé par le conducteur, mais certaines caractéristiques d'assistance à la conduite peuvent être incluses dans la conception du véhicule.

### Niveau 2

Automatisation partielle ; le véhicule combine des fonctions automatisées, telles que l'accélération et la direction, mais le conducteur doit rester impliqué dans la tâche de conduite et surveiller l'environnement à tout moment.

### Niveau 3

Automatisation conditionnelle ; le conducteur est une nécessité, mais il n'est pas requis pour surveiller l'environnement. Le conducteur doit être prêt à prendre le contrôle du véhicule à tout moment.

### Niveau 4

Haute automatisation ; le véhicule est capable d'exécuter toutes les fonctions de conduite dans certaines conditions. Le conducteur peut avoir la possibilité de contrôler le véhicule.

### Niveau 5

Automatisation complète ; le véhicule est capable de réaliser toutes les fonctions de conduite dans toutes les conditions. Le conducteur peut avoir la possibilité de contrôler le véhicule.



### 3.1 Situation actuelle

L'industrie automobile s'attend à une mise sur le marché importante du nombre de voitures partiellement ou complètement autonome d'ici le début des années 2020. Nous pouvons également observer que dans la dernière décennie, l'intérêt de la population mondiale à s'informer sur des méthodes de mobilité autonome a fortement augmentées. Comme le démontre le graphique ci-dessous, l'évolution des recherches sur le moteur de recherche Google du terme « autonomous vehicle » est en forte augmentation depuis 2016. Cette nouvelle tendance incite les grands manufacturiers automobiles à investir dans la R&D afin de développer de nouvelles solutions de mobilité autonome.

Figure 11: Evolution des recherches sur Google



(Source : Google Trend)

Cependant, il faut prendre en considération le fait que le délai d'adoption de cette technologie dépend de différents facteurs, dont l'évolution dans les prochaines années des lois y étant relatifs. En effet, les véhicules autonomes demandent à la fois, un cadre juridique et un cadre technologique approprié. Il subsiste encore de nombreux problèmes liés à la responsabilité lorsque les véhicules évoluent dans un environnement potentiellement dangereux. De toute évidence, il est difficile pour les constructeurs automobiles de développer et de produire en masse, s'il n'y a nulle part où tester légalement ce genre de technologie.

Nous pouvons tout de même observer que de nombreux manufacturiers automobiles tentent de développer des véhicules autonomes. Pour n'en citer que quelques-uns :

### Google

Google a débuté le développement d'un véhicule autonome dès 2002 en employant des chercheurs travaillant pour la DARPA<sup>6</sup>. Ils ont adapté cette technologie de conduite sur des véhicules Toyota et Lexus, et ont parcouru plus de 483'000 km de test sur des routes désertes en Californie et au Texas, en 2012. Des essais ont également eu lieu dans des environnements urbains plus complexes, avec un transfert du contrôle du véhicule entre le système automatisé et le personnel de bord. Cependant, la voiture de Google nécessite toujours un être humain pour programmer les différents aspects environnementaux, tels que les panneaux de signalisation, les feux de circulation, etc. De ce fait, il est impossible de déterminer dans quelle mesure le système fonctionnerait dans un environnement inconnu où il pourrait être confronté à des imprévus comme des feux de signalisation temporaires ou des voies fermées à la circulation lors de travaux.

### Volvo

Volvo utilise une technologie appelée « suivre les voies, adapter la vitesse et effectuer des fusions de manière autonome ». Ils ont fait des essais à Gothenberg (Suède) dans des conditions de tous les jours.

Volvo a également commencé des tests de convois de camions basés sur la technologie dit de « platooning » en partenariat avec DAF, Daimler, Iveco, MAN, Scania. Le concept de « platooning » se base sur le fait que le convoi est contrôlé par un camion de tête et est connecté au reste des camions. Cela permet de contrôler plus de camions avec moins de conducteurs, voire pas du tout. Ce concept peut être cruciale pour fournir des conditions plus faciles à la réalisation et à la mise en place d'un système autonome dans le transport routier.

En avril 2016, six convois de « platooning », rassemblant une douzaine de camions de diverses marques européennes, ont achevé leur tout premier trajet transfrontalier de ce genre. Cependant, les camions présentés dans le test exigeaient toujours la présence de conducteurs humains par mesure de précaution.

---

<sup>6</sup> DARPA : The Defense Advanced Research Projects Agency

## Audi

Audi travaille actuellement sur un système d'auto-apprentissage entièrement autonome, nécessitant de ce fait aucune intervention humaine. Ces tests sont réalisés à l'aide d'une Audi S7 Sportback, qui a déjà parcouru une distance de 885 km, partant de San Francisco en direction de Las Vegas. Ainsi, si cette technologie est appliquée au nouveau modèle Audi A8, cette dernière serait capable d'atteindre un niveau 3 d'autonomie, c'est-à-dire qu'elle serait capable de gérer certaines situations en mode autonome, mais le conducteur sera tout de même requis d'être prêt à reprendre le contrôle en cas de besoin.

## Ford Motor

En février de cette année, Ford a annoncé vouloir investir USD 1 milliard dans l'entreprise Argo AI. Ford désire combiner l'expertise d'Argo AI avec ses propres efforts dans le domaine des véhicules autonomes afin de créer un véhicule totalement autonome d'ici 2021.

Comme l'a déclaré le CEO de Ford Motor à CNBC, Ford envisage de développer un véhicule de niveau 4 d'ici à 2021. Le véhicule n'aura ni pédales, ni volant, et le passager n'aura jamais besoin de prendre le contrôle du véhicule dans une zone prédéfinie.

### 3.1.1 Nouveaux acteurs

De plus, ces nouvelles technologies permettent d'ouvrir le marché à des nouveaux entrants. En effet, ce genre de technologie (électrique ou autonome) demande un savoir-faire que les industriels automobiles ne possèdent pas forcément. La fabrication d'un véhicule conventionnel demande bien plus de pièces pour l'assemblage que pour un véhicule électrique, facilitant ainsi la collaboration et la logistique. Ainsi, il est plus facile à des nouvelles entreprises ou autres sociétés voulant investir un nouveau marché, à se lancer dans cette industrie saturée. A l'avenir, il existe un réel potentiel de « rebrassage des cartes » dans l'industrie automobile et voici quelques exemples de sociétés se lançant dans ce marché.

#### Einride

Einride est une société de transport suédoise fondée en 2016. La société se spécialise dans les camions autonomes et, est connue pour avoir créé le « T-pod » et « T-log ». Ces deux modèles ont été développés pour être entièrement autonome et être conduit à distance.

Figure 12: T-Pod



(Source : internet)

#### Amazon

Amazon a, au cours de la dernière décennie, investi des milliards de dollars afin de solutionner les problèmes liés au dernier kilomètre. La société, qui possède sa propre flotte d'avions cargo, a développé la livraison par drone. Amazon a annoncé un partenariat avec Toyota afin de développer une mini-fourgonnette autonome pour le transport de

Figure 13: E-palette



(Source : internet)

marchandises, de personnes ou comme un bureau mobile. Ce véhicule a pour nom « e-palette » et est prévu d'être lancé pour les JO d'été 2020 à Tokyo.

## Apple

Apple a lancé le projet « Titan » et selon les rapports initiaux, le projet visait le développement d'un véhicule électrique avancé. Cependant, le projet a connu de nombreux revers et selon de nouveaux documents parus en avril 2017, Apple révèle qu'elle construit un système autonome et qu'elle a engagé des experts en robotique de la NASA dans ce sens. Malheureusement, Apple garde le silence à propos de leur projet « Titan », mais tout laisse à croire que la société serait en train de développer une voiture autonome électrique.

Figure 14: Projet Titan



(Source : internet)

## Aptiv

Anciennement Delphi Automotive, la société a été renommée Aptiv en mai 2017 et se concentre désormais entièrement sur les logiciels et composants électriques pour les véhicules autonomes. Aptiv a créé un réseau de logiciels et de capteurs pouvant être installés sur des modèles de voitures

Figure 15: Voiture de Aptiv



(Source : internet)

existants pour les rendre autonomes afin d'atteindre une automatisation complète (niveau 5). Aptiv a été sélectionnée par la Singapourian Land Transit Authority afin de lancer des essais dans le cadre d'un programme de mobilité autonome. La société a également créé un partenariat avec la société de taxi à la demande Lyft afin d'appliquer cette technologie dans l'élaboration de taxis autonomes. En août 2018, Lyft a annoncé avoir effectué déjà plus de 5'000 trajets autonomes avec la technologie d'Aptiv.

## Tesla

Tesla développe des voitures avec comme objectif principal, une automatisation complète au travers de mises à jour de software incrémentales, contrairement aux constructeurs automobiles conventionnels qui cherchent à offrir un système final de conduite automatique complet et infaillible.

## Uber

Uber travaille sur l'intégration de voitures autonomes dans sa flotte de véhicule. La société a lancé son premier véhicule autonome en septembre 2016. Ce dernier est une Ford Fusion équipée de 20 caméras, de sept lasers, d'un GPS, d'un lidar<sup>7</sup> et d'un radar. Toute cette panoplie d'instruments permet de recréer

l'environnement en trois dimensions et permettant ainsi de se positionner en adéquation. Uber a également utilisé des SUV Volvo XC90 à San Francisco, en décembre 2016, mais la municipalité a interdit cette expérimentation une semaine plus tard. De ce fait, Uber a transféré son programme en Arizona, où les voitures sont utilisées pour le transport de passagers, quand bien même le fait que deux ingénieurs soient en permanence à bord pour surveiller le bon fonctionnement du véhicule.

Il existe encore de nombreuses sociétés se lançant dans le marché des véhicules autonomes. Beaucoup de constructeurs automobiles développent des partenariats avec leurs fournisseurs afin de développer de nouvelles technologies autonomes comme Bosch et Mercedes, Autoliv et Volvo, etc. De plus, de nombreuses sociétés tels que Baidu, Samsung et encore Nvidia, développent des architectures informatiques pour la technologie autonome. Finalement, les sociétés de taxi à la demande comme, ZipCar, Waymo et lyft, se lancent également dans cette technologie, afin de rester compétitif.

Figure 16: Voiture de Uber



(Source : internet)

---

<sup>7</sup>Système de détection et estimation de distance par laser

### 3.1.2 Accidents

La grande incertitude des potentiels usagers est le risque d'accident. En effet, il est tout à fait compréhensible que les conducteurs perçoivent l'autonomie du véhicule comme une perte de contrôle, créant ainsi une aversion à cette technologie. De plus, l'attention que porte les médias lors d'accidents de ce type de véhicule, décuplent les effets d'incertitudes auprès de la population. Par exemple, en février 2016, un véhicule autonome de Google créa un accident avec un autobus. Le personnel assistant se trouvant dans le véhicule a supposé que le bus ralentirait afin de laisser la place à la voiture autonome, ce qui ne fut pas le cas. De ce fait, le pilotage automatique ne fut pas neutralisé, créant le carambolage à une vitesse de 25 km/h. En mars 2018, Uber a retiré temporairement ses véhicules autonomes suite à un accident tuant un piéton. L'accident s'est produit par le fait que l'ordinateur de bord n'a pas su distinguer le piéton traversant la route et également à l'inattention du personnel de sécurité de bord. Un véhicule de Tesla a également provoqué un accident mortel en 2018 impliquant leur système de pilotage automatique. Ainsi, toute cette couverture médiatique augmente ce ressenti de non-contrôle des potentiels utilisateurs.

L'incertitude est d'autant plus ressentie auprès des parents ayant des enfants en bas âge. Actuellement, les enfants dépendent principalement de leurs parents, de leurs frères et sœurs aînés, d'autres adultes ou encore des transports en commun, pour répondre à leurs besoins en termes de mobilité. Ainsi, les véhicules autonomes ont le potentiel d'être utilisés afin d'améliorer ou compléter leur mobilité (*Harper et al., 2016 ; Sparrow, Howard, 2017*). Cependant, la technologie n'a pas encore fait ses preuves afin de garantir une sécurité totale du véhicule. De plus, les réglementations légales ne sont pas encore suffisamment développées afin d'encourager les parents à utiliser ce mode de transport pour leurs enfants (*Anderson et al., 2014 ; J.D. Power, 2013 ; Nordhoff et al., 2016*).

Selon les nouvelles lois actuelles concernant la sécurité routière, les enfants doivent être attachés à l'aide de moyens adaptés tels que des rehausseurs, des sièges « bébé », ceintures adaptées. Mais quand bien même ces derniers soient obligatoires, de nombreuses recherches démontrent que seul deux-tiers des enfants sont sécurisés selon les exigences prescrites (*Macy et al., 2012 ; Pickrell, 2014*). Si l'on ajoute à cela le fait que certains enfants ont tendance à se détacher lors des déplacements, voilà qu'un tiers des décès d'enfants de 0 à 12 ans en 2011, n'était pas correctement, voire pas du tout, attaché (*Sauber-Schatz et al., 2014*).

Par conséquent, il est important d'établir des fonctionnalités de supervision telles que le retour d'informations audio et vidéo pendant la conduite et également une infrastructure de support adaptée, au départ et à la fin du trajet, si l'on veut intégrer les enfants en tant qu'utilisateurs de véhicules autonomes.

### **3.1.3 Ethique**

La mobilité autonome pose de nombreuses questions éthiques, notamment concernant la responsabilité en cas d'accident. Dans le cas où un véhicule autonome est impliqué dans un accident, à qui revient la responsabilité ? Est-ce le fabricant pour défaut de conception, ou l'utilisateur pour non-réaction et reprise en main du véhicule ?

Dans le cas de la responsabilité de l'utilisateur, il est important de noter que le conducteur doit avoir la capacité de reprendre le contrôle sur le véhicule. Selon la Convention de Vienne sur la circulation routière de 1968 (ratifiée par 74 pays) et la convention de Genève sur la circulation routière de 1949 (ratifiée par 96 pays), chaque véhicule en mouvement doit disposer en tout temps d'un conducteur. Néanmoins, il existe un amendement à la Convention de Vienne (ratifiée en 2014) qui stipule que le conducteur peut se libérer du volant du véhicule autonome. Cependant, la question de la responsabilité de l'utilisateur est un problème transitoire, car, lorsque la technologie et l'infrastructure seront adaptées aux véhicules autonomes, ce genre de problématique disparaîtra.

Dans le cas de la responsabilité du constructeur automobile, la question éthique qui en découle, est le comportement du véhicule dans une situation où l'accident est inévitable. Le véhicule devrait-il donner la priorité à la sécurité des passagers au dépend de l'environnement extérieur ? Ainsi, la capacité de l'intelligence artificielle du véhicule doit être capable de s'adapter à des scénarios prévisibles (bien que variable), mais également à une variété de paramètres complexes et extraordinaires qui peuvent se produire sur les routes. Ce genre de scénarii complexes est d'autant plus présent dans des situations urbaines et demande une capacité cognitive de la part de l'intelligence artificielle, beaucoup plus poussée que disponible à l'heure actuelle.



### 3.1.4 Cybersécurité

Avec l'expansion rapide de nouvelles technologies connectées pour les véhicules (autonomes ou non), le rythme est trop rapide. Il y a une trop grande variété de fonctionnalités ce qui engendre une sécurité à la traîne. En effet, les fabricants de périphériques offrent peu de solutions avec une communication Ethernet (pas de support TCP<sup>8</sup>) ou de connexions sécurisées (par exemple, SSL<sup>9</sup>) (*SHIFT Automotive Forum, 2019*).

Ainsi, il existe une multitude de vecteurs d'attaque :

- Longue distance (internet)
- Courte distance (Bluetooth, sans fil)
- Accès physique (accès direct au CAN bus<sup>10</sup>)
- Composants communs aux de voiture standard (exemple : TPMS<sup>11</sup>)

En termes de véhicules, la plus grande menace reste l'infrastructure de connexion. Ainsi, les méthodes d'hacking traditionnelles telles que les DDoS attack<sup>12</sup>, Phishing, ransomware, attaques liées mot de passe ou autres mises à jour non autorisées, peuvent être utilisées afin de prendre le contrôle du véhicule. Ce type d'hacking est d'autant plus dangereux, qu'il a déjà fait ces preuves.

Un autre type d'attaques est celle vise spécifiquement la connectivité du véhicule. Elles se déclinent en des attaques physiques, comme l'accès au port OBD ou au système multimédia, mais également à distance au travers des canaux radios et cellulaire afin d'attaquer les systèmes de déverrouillage, d'allumage sans clef.

---

<sup>8</sup> Transmission control protocol ; ensemble de règles qui régissent la transmission de données sur Internet et établit une connexion entre les ordinateurs d'envoi et de réception

<sup>9</sup> Secure Sockets Layer ; protocoles cryptographiques conçus pour assurer la sécurité des communications sur un réseau informatique

<sup>10</sup> Controller Area Network bus ; norme de bus informatique pour véhicule conçue pour permettre aux microcontrôleurs et aux périphériques de communiquer entre eux dans des applications sans ordinateur hôte

<sup>11</sup> Tire-pressure monitoring system

<sup>12</sup> Distributed Denial of Service attack ; attaque informatique ayant pour but de rendre indisponible un service, d'empêcher les utilisateurs légitimes d'un service de l'utiliser

De ce fait, il est important qu'il y ait un changement de paradigme en termes de cybersécurité. L'approche actuelle consiste à adapter les voitures existantes, héritant ainsi de tous leurs défauts. Pour cela, il faut identifier les lacunes et connaissances, et implémenter une sécurité précoce par conception directement au niveau de la R&D. A cela s'ajoute un développement de procédure de surveillance, de secours et de récupération dans le but de mettre en place un système de partage des incidents à un niveau international.

De plus, il est important de développer un nouveau système d'exploitation pour les CAV<sup>13</sup> mettant en application une politique de sécurité, tout en permettant une communication entre les différents composants. Il est tout de même primordial d'isoler les composants connectés du contrôle physique du véhicule, des autres composants non-cruciaux (par exemple : Bluetooth). Les nouveaux systèmes devront également être capable de prendre en charge des clés cryptographiques afin de garantir une exécution sécurisée du système.

Finalement, grâce à l'exploration de données à travers des outils d'analyse prédictive, mais également à l'intelligence artificielle lié à « l'internet des objets »<sup>14</sup> (IOT), les infrastructures intelligentes pourront permettre aux responsables municipaux de surveiller les performances du système routier et de pouvoir gérer sa croissance. Les smartphones, par exemple, sont une excellente source d'informations en temps réel du trafic routier.

La surveillance passive des données des systèmes téléphoniques, permettra de mesurer le flux du réseau routier, le nombre de places de stationnement vides ou encore de suivre la progression des transports publics selon leur itinéraire. La mise en place de ce genre de dispositifs fournira aux responsables de l'aménagement du territoire urbain, des données dynamiques leur permettant d'établir une vue d'ensemble en temps réel et de mettre en place des systèmes de gestion et une gouvernance adaptés (*Kitchin, 2014 ; Rose, 2006*).

---

<sup>13</sup> Certification, Authentication, Verification

<sup>14</sup> « Internet des objets » est la capacité des objets à communiquer entre eux via internet, afin d'améliorer une infrastructure complexe grâce à de nouvelles connaissances acquises à travers le flux d'informations

Par contre, il est primordial d'étendre la cybersécurité à l'environnement global du véhicule. Actuellement, les gouvernements ne disposent pas du savoir-faire nécessaire en matière des technologies disponibles et de cyber-risques associés. Cela se démontre par le fait qu'il n'existe pas de services d'intervention en cas d'urgence informatique (à des fins de coordination et de réaction, similaire aux équipes d'intervention en cas de séisme et d'inondation). A ce titre, la ville de Baltimore en fait actuellement les frais. Depuis le 7 mai 2019, le système informatique de la municipalité est complètement arrêté suite à une attaque informatique de type ransomware et reste toujours dans l'incapacité de résoudre ce problème un mois après. Mais les problèmes futurs peuvent être d'une magnitude encore plus importante à travers la falsification de données de navigation et des panneaux de signalisation. Ce genre de problème est souvent lié au fait qu'aucun test de sécurité n'est effectué et que les systèmes informatiques sont désuets.

La cybersécurité sera d'autant plus difficile à l'avenir, à cause de la complexité et l'interdépendance d'un réseau IOT global. Le risque d'une réaction en chaîne à travers différents réseaux connectés, comme par exemple le réseau électrique, le contrôle du trafic routier, les maisons intelligentes, etc. est d'autant plus critique. De plus, le déploiement de mise à jour de sécurité sera complexe et onéreux. Donc, il est primordial d'éduquer la population aux risques de cybersécurité afin de limiter le potentiel d'attaques informatiques.

### **3.1.5 Potentiel d'utilité**

Dans le cas où le véhicule autonome atteindrait une capacité d'autonomie de niveau 5, ceci permettrait de développer de nouveaux potentiels d'utilité à la mobilité. Dans un aspect général, cela permettrait aux conducteurs de gagner en confort et en temps. En effet, étant donné que ce dernier n'a plus besoin de porter toute son attention sur la conduite, cela permettra d'apporter un nouveau potentiel au déplacement et à la mobilité dans sa globalité.

Premièrement, grâce à cette liberté dans le déplacement, le conducteur et les passagers peuvent avoir une conversation face à face afin d'entretenir les liens sociaux nécessaires à l'être humain. Ils pourront également se restaurer, se divertir avec un film, par exemple, ou encore se reposer après une longue et stressante journée de travail. L'autonomie du véhicule permet également d'améliorer le bien-être personnel indirectement dû fait que cette technologie améliore la sécurité de ses passagers. En effet, la sécurité routière serait grandement améliorée grâce aux systèmes d'évitement et de limitation des collisions. Ce genre de système automatisé permet de garder les distances de sécurité ou de détecter une situation à risque, enclenchant ainsi le système de freinage automatique.

Deuxièmement, le véhicule autonome permettra l'accès à des moyens de transport personnels pour des personnes dans l'incapacité de conduire. Étant donné que les véhicules autonomes ne nécessitent pas de permis de conduire, ces derniers pourraient offrir des options de mobilité supplémentaires aux personnes à mobilité réduite, sous médicament, en état d'ébriété ou aux jeunes personnes (*Harper et al., 2016 ; Brown et al., 2014 ; Wadud et al., 2016*). Cependant, selon la SAE, les véhicules autonomes devraient au moins être classés au niveau 4 d'autonomie afin de ne pas nécessiter le permis de conduire. Ce type de technologie ne permettrait la conduite autonome que dans des zones limitées ou dans des circonstances spécifiques. Par conséquent, les usagers seraient relativement limité dans leur déplacement.

Comme précédemment cité, les véhicules autonomes permettraient de simplifier la mobilité des enfants et de réduire le stress chez les parents. En effet, il ne sera plus nécessaire aux parents d'accompagner leurs enfants à leurs activités et ils pourront ainsi vaquer à d'autres occupations. Cependant, la question de laisser la garde de son enfant à un véhicule autonome, peut poser problème aux parents. En effet, selon une étude internationale, les participants ont été interrogés sur les occasions dans lesquelles ils utiliseraient un véhicule entièrement autonome. Seulement 11% de l'échantillon indique la mobilité de leurs enfants, comme une occasion potentielle (*Kyriakidis et al., 2015*). Ce manque de confiance est généralement attribué au fait que cette technologie n'a pas encore fait ces preuves, mais il peut également être attribué au fait qu'il manque à ce jour, de systèmes de feedback du déplacement de l'enfant et de contrôle du port de la ceinture, mais également de toute une infrastructure afin d'amener l'enfant, du véhicule à son lieu final, car le véhicule ne peut pas amener l'enfant dans sa classe d'école par exemple.

Troisièmement, il sera possible de pouvoir travailler lors de son déplacement. Il est clair qu'il est tout à fait possible de nos jours de pouvoir effectuer une partie de son travail dans les transports en commun (lire ses emails), cependant le concept pourra être plus poussé en imaginant des véhicules avec un poste de travail, un ordinateur, des outils de bureau, etc.

Finalement, la mise en place massive d'un parc automobile autonome, ou d'autoroutes à grande vitesse spécifiques à ces dernières, permettra de gagner du temps en termes de déplacement. Grâce au principe de conduite coopérative, les véhicules autonomes pourront communiquer entre eux, et avec l'infrastructure routière. Ceci permettra d'optimiser la fluidité du trafic, réduisant ainsi les bouchons, les émissions de CO<sub>2</sub> et également la consommation du véhicule.

De cela en découle un attrait économique également. L'optimisation du trafic routier permettra de faire des économies de carburant et d'entretien du véhicule, mais il est possible de pousser encore plus loin les futurs concepts de la mobilité autonome en questionnant la possession privée d'un véhicule. En effet, il est tout à fait envisageable que le véhicule passe d'un statut d'objet à un service. Il existe déjà de nos jours des services de mobilité à la demande en souscription. Les frais d'achat et d'entretien relatifs à un véhicule se résumeront uniquement à son utilisation. De plus, il n'y aura plus de raison à posséder une assurance voiture, diminuant encore les frais relatifs à sa mobilité personnelle.

Les avantages précédemment cités pourront être réalisables qu'une fois la majorité du parc automobile soit converti aux véhicules autonomes. Dans le cadre du concept de la conduite coopérative, cela dépendra du niveau d'autonomie des véhicules, ainsi que dans quelle mesure les véhicules « manuelles » et autonomes pourront être dans le même environnement.

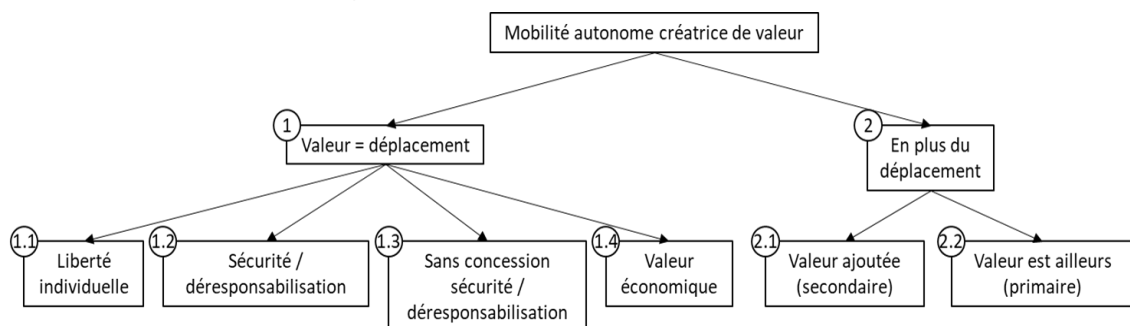
## 4. Visions du monde de demain en termes de mobilité

A travers l'histoire, l'Homme a toujours imaginé et créé le futur de la mobilité sous le prisme du gain de temps via la rapidité du moyen de transport. L'Homme a débuté sa mobilité en marchant, puis en apprivoisant des chevaux, ensuite est venue l'aire de la mécanique avec le train, puis la voiture et finalement l'avion. Toutefois, il est de mon avis que la mobilité a atteint, à quelques exceptions près, son paroxysme en termes de rapidité. C'est pourquoi, j'ai décidé d'explorer la mobilité du futur avec comme vecteur, la création de valeurs à travers le déplacement. Vu que la mobilité ne peut que difficilement être accélérée, surtout dans les zones urbaines, il est pour moi important de prendre conscience de l'apport que peut offrir le déplacement. De plus, j'ai décidé d'entreprendre ma réflexion en partant du principe que le futur de la mobilité sera autonome, car cette technologie réserve le plus gros potentiel de révolution en termes de mobilité. Pour cela, j'ai développé une arborescence de type C-K, afin de pouvoir identifier des axes d'exploration pour imaginer concrètement le futur de la mobilité (Cf. annexe 1).

Le modèle C-K est une sorte de cartographie qui aide à l'exploration et à l'élaboration de nouvelles pistes innovantes de rupture. Pour cela, ce modèle se base sur deux aspects : les Concepts (C) et les Connaissances (K=Knowledge). Dans le cadre de ce dossier, nous nous concentrerons uniquement sur la partie des Concepts, celle-ci étant la plus pertinente dans notre cas. Une particularité supplémentaire de ce modèle, est qu'il se lit de gauche à droite, ce qui se fait actuellement se trouve à gauche et les pistes les plus innovantes à droite.

Comme vous pouvez le voir sur le graphique ci-dessous, ma réflexion se base sur deux hypothèses initiales. Le déplacement est la valeur pour l'utilisateur (1) et la valeur pour l'utilisateur, est en plus du déplacement (2).

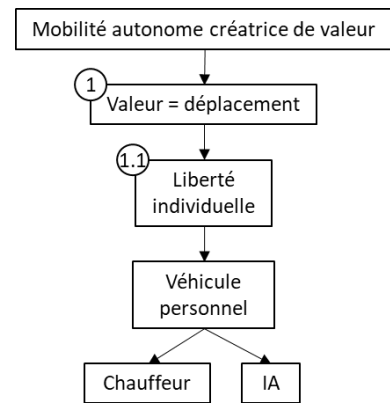
Figure 17: Résumé du Modèle C-K



(Source : auteur)

Le premier axe d'exploration, en partant de l'hypothèse que la valeur est égal au déplacement (1), est la liberté de l'individu (1.1). Cette dernière se traduit par une mobilité individuelle avec un véhicule personnel. Dans ce cas, Il existe deux branches. La première est d'avoir un chauffeur personnel, ce qui permet à l'utilisateur de ne pas avoir à conduire. En revanche, la piste de l'intelligence artificielle (IA), est un axe qui mérite d'être plus approfondi. En effet, il existe déjà de nombreux systèmes d'aide à la conduite tels que le freinage automatique, le maintien des lignes blanches, etc. Mais le concept peut être encore plus poussé en imaginant une voiture totalement conduite par une IA. Nous pouvons observer actuellement que beaucoup de société investissent et développent cette approche comme étant le futur de la mobilité.

Figure 18: Axe 1.1

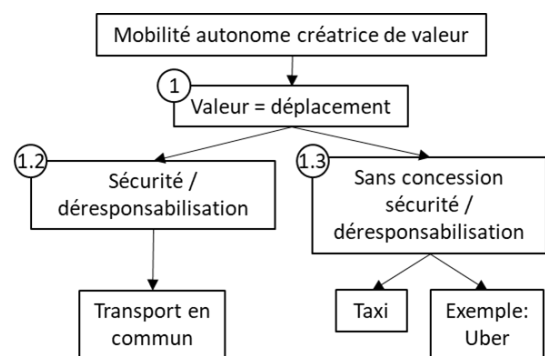


(Source : auteur)

Les deux axes d'exploration suivants (1.2 et 1.3) traitent sur le fait que le déplacement crée une sécurité et une déresponsabilisation.

L'axe 1.2 se focalise sur cet aspect de sécurité, mais en incluant une entrave sur la liberté de l'individu. Dans ce cas, les transports en commun sont le parfait exemple. Ils sont déjà entièrement ou partiellement automatisés comme le métro M2 de Lausanne et le système ECTS<sup>15</sup> pour les réseaux de rail européen et suisse. Il est important de noter que ces systèmes automatisés sont facilement

Figure 19: Axes 1.2 et 1.3



(Source : auteur)

implémentables car ils se trouvent dans un univers fermé, c'est-à-dire que rien ne peut venir perturber leur déplacement comme le métro sous terre. Mais il est aussi possible d'imaginer que ces systèmes peuvent être implémentés dans d'autres moyens de transport en milieu ouvert comme les bus et trams.

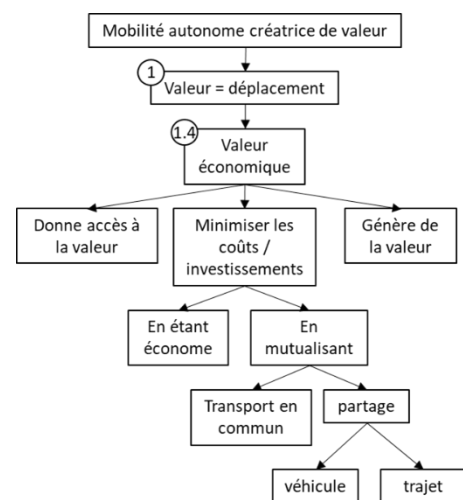
<sup>15</sup> European Train Control System (ETCS) ; composante de signalisation et de contrôle du système européen de gestion du trafic ferroviaire (ERTMS). Son but est que toutes les informations de circulation soient transmises au conducteur, éliminant ainsi le besoin de signaux devant être surveillés par le conducteur. Cela implémente les bases d'un fonctionnement automatique du train.

L'axe 1.3 porte sur un aspect de sécurité et de déresponsabilisation mais sans concession sur la liberté individuelle. Dans ce cas-là, nous pouvons imaginer que les services de taxi ou autres services comme Uber, par exemple, puissent mettre en place des véhicules autonomes. Ce genre de service se trouvent, dans le plus souvent des cas, dans des milieux urbains ou périphériques, donc le plus propice à l'émancipation de cette technologie. En réalité, c'est le cas pour Uber qui teste déjà cette technologie actuellement, comme nous avons pu le voir précédemment.

L'axe d'exploration 1.4 traite de la valeur du déplacement sous l'angle économique. En effet, dans un premier ordre, le déplacement donne accès à la valeur économique. Dans un second ordre, le fait d'utiliser un moyen de transport autonome est qu'il permet de minimiser les coûts ou les investissements. Il est possible d'économiser en restant frugale dans son utilisation, certes, mais il y a un grand potentiel dans le fait de mutualiser la mobilité. Le premier point serait d'utiliser les transports en commun. Cependant, l'aspect qui me semble le plus intéressant et ayant le plus grand potentiel innovant

est le partage. En effet, il est tout à fait possible d'incorporer la technologie des véhicules autonomes aux modèles d'affaires déjà existant, afin de partager son véhicule ou son trajet. Finalement, dans un troisième ordre, on peut imaginer que le véhicule autonome puisse faire office de taxi pour d'autres utilisateurs lorsqu'il n'est pas utilisé, générant ainsi de la valeur. Dans le cadre de cet axe d'exploration, la question est plus approfondi au chapitre 4.1.

Figure 20: Axe 1.4



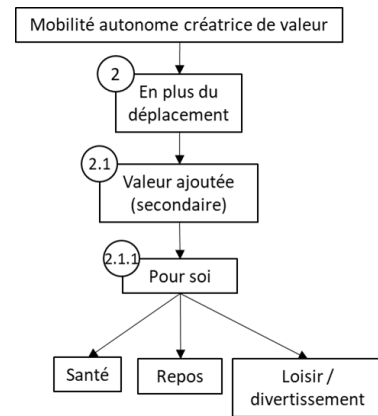
(Source : auteur)



La seconde hypothèse (2) émanant de ma réflexion est que la mobilité crée de la valeur, non plus à travers le déplacement, mais en plus du déplacement.

Dans le cas d'une valeur ajoutée à la mobilité (2.1), j'ai dégagé trois branches secondaires. La première (2.1.1) est un avantage pour l'individu. La mobilité autonome permet à l'utilisateur d'améliorer son bien-être. Comme cité précédemment dans le chapitre du potentiel d'utilité (chapitre 4.5), l'utilisateur ne subit plus le stress de la conduite et, de ce fait, peut discuter avec les autres passagers, vaguer à ses occupations, se reposer et l'on peut même imaginer qu'il puisse regarder un film ou faire du sport avec des concepts de véhicules adaptés à ce genre de besoin.

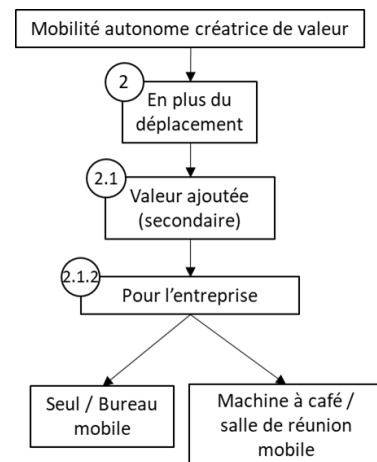
Figure 21: Axe 2.1.1



(Source : auteur)

La deuxième branche (2.1.2) traite de la plus-value par l'aspect travail. La mobilité autonome permet à l'utilisateur d'utiliser le déplacement à des fins professionnels. Dans ce cas, on peut imaginer des véhicules adaptés avec un bureau, ordinateur, établi de travail ou tout autre matériel. Le véhicule peut également être imaginé comme une salle de réunion ou « coin machine à café », permettant ainsi un gain de temps et une efficacité accrue grâce à la professionnalisation de la mobilité.

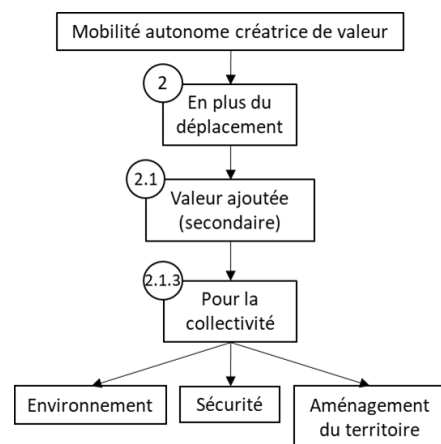
Figure 22: Axe 2.1.2



(Source : auteur)

Finalement, la troisième branche traite de la valeur ajoutée du point de vue de la collectivité (2.1.3). Dans le cas d'une mobilité autonome, cela permet de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> grâce à l'efficacité et à l'optimisation de cette technologie. De plus, cet effet peut être décuplé si l'on considère que cette mobilité soit électrique. L'attrait supplémentaire pour la collectivité est également l'amélioration de la sécurité, autant pour les usagers de la route que pour les piétons, en enlevant le facteur humain. Finalement, l'intercommunication et à l'autonomie des véhicules permettront de diminuer l'empreinte de la mobilité en termes d'aménagement du territoire. Il n'y aura plus d'utilité à avoir des autoroutes à trois ou quatre voies car tous les véhicules rouleront à la même vitesse et en respectant les distances de sécurité. Il n'y aura également plus besoin d'avoir des routes de débordement pour les zones ayant des risques d'embouteillage. Le fait que les voitures puissent se parquer elles-mêmes et si l'on considère l'hypothèse que les voitures des propriétaires soient utilisées à des fins de taxi lorsqu'elles ne sont pas utilisées, ceci permettra de diminuer la demande en place de parc en zone urbaine.

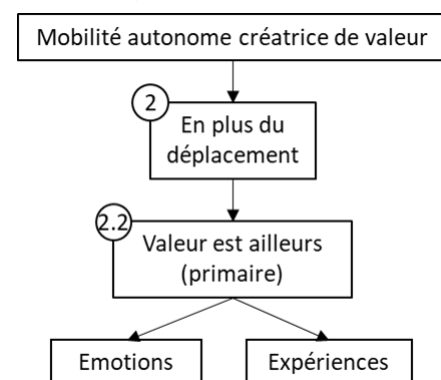
Figure 23: Axe 2.1.3



(Source : auteur)

Le dernier axe principale d'exploration part de l'hypothèse que la mobilité puisse créer de la valeur en plus du déplacement, mais que la valeur ne soit plus liée à un aspect concret (2.2). Dans ce cas, la valeur est ailleurs. Elle peut être liée à l'émotion du déplacement ou l'expérience du trajet. Cette branche d'exploration n'a pas pour but d'amener des concepts car elle requiert une étude anthropologique plus approfondie. Mais il est important de noter qu'il puisse y avoir d'autres pistes innovantes à explorer dans ce registre.

Figure 24: Axe 2.2



(Source : auteur)

## 4.1 Mobilité en tant que service (MaaS)

La mobilité en tant que service (MaaS) est une forme plus avancée de la mobilité partagée. Le terme « MaaS » a été inventé en Finlande et désigne un ensemble de services de mobilité tels que les transports en commun, le covoiturage, le vélo en libre accès et les taxis. L'idée est d'offrir un service sous la forme d'un abonnement ou de paiement à l'utilisation, afin de créer un système de transport intermodal transparent. Ainsi, ceci provoquera un changement de la façon dont la mobilité est perçue, transitionnant d'un système de transport basé sur la propriété d'un produit (possession du véhicule) à un système basé sur l'accès. L'objectif est de rassembler les fournisseurs de transports privés et publics en une seule et même offre, permettant de gérer la mobilité de la population. La finalité du concept MaaS, est d'offrir des solutions de mobilité adaptées aux besoins des utilisateurs.

Par exemple, on estime au Royaume-Uni qu'un véhicule est en moyenne garé pendant 80% du temps (*Bates, Leibling, 2012*) et transporterait en moyenne 1,58 personne (*European Environment Agency, 2016*). En Suisse, le taux d'occupation moyen d'un véhicule varierait entre 1,34 et 1,46 personne selon le trajet (*Stoiber et al., 2019*). Ceci témoigne du potentiel d'une mobilité partagée, au moins de manière asynchrone. A l'heure actuelle, la mobilité partagée se base sur deux principes : le partage du trajet (Uber) et le partage du véhicule lui-même (Zipcar). Ce dernier type de mobilité partagé, peut avoir différentes formes, comme un service basé sur des « gare de stationnement » ou service flottant. Le problème, dans le cadre des systèmes de covoiturage flottants (les voitures peuvent être récupérées et déposées à n'importe quel endroit), est que la distribution des véhicules sur le territoire devient déséquilibré. En effet, lorsqu'un usager dépose ledit véhicule à sa destination, il se peut que cet endroit n'ait pas de demande suffisante pour ramener le véhicule à une destination plus centralisé pour les autres usagers. Cet effet a pour conséquence d'être très coûteux pour les opérateurs de ce genre de service. Ainsi, ce problème a forcé la société Autolib d'offrir à ses utilisateurs une incitation économique, comme par exemple le voyage gratuit, afin de redistribuer ses véhicules sur l'ensemble du territoire.

C'est pourquoi l'émancipation de la mobilité partagée est grandement liée à l'introduction des véhicules autonomes. Ceci permettra l'augmentation des options novatrices en termes de mise en commun du transport. Ainsi, les véhicules partagés ou les taxis autonomes pourraient devenir les acteurs les plus importants du marché du transport (*Fagnant, Kockelman, 2014 ; 2015 ; Spieser et al., 2014 ; Zhang et al., 2015 ; Raubal et al., 2017*).

Ils permettraient de développer un système de transport plus durable tout en réduisant le nombre de voitures privées et donc, réduire les espaces dédiés au stationnement dans les centres-villes. La capacité des véhicules autonomes à pouvoir se repositionner, afin d'équilibrer l'offre sur le territoire, augmentera l'accessibilité de ce genre de service. Cela permettra une meilleure utilisation des espaces publics et sera un avantage pour les habitants car.

Cependant, pour que la mobilité partagée soit réellement révolutionnaire, cette méthode doit se développer au-delà des niches de marché. Selon le Center for Automotive Research, le marché du transport européen démontre un potentiel de croissance conséquent. Il est estimé que le nombre d'utilisateurs de ce genre de modalité, puissent atteindre 10 millions d'ici 2021, contre environ 2,2 millions en 2014 (*Center for Automotive Research, 2016*). Cette croissance s'explique en partie par le fait que les milléniaux seraient moins enclin à posséder une voiture. En effet, selon de nombreuses études, fondées sur des enquêtes, les jeunes privilégieraient les transports en commun et les systèmes de covoiturage, au détriment des voitures privées (*Zhang et al., 2015*).

Dans une étude suisse, les taxis autonomes ainsi que les voitures autonomes, seraient la deuxième option la plus souvent choisie. Dans le cas des taxis autonomes, 45,1% des participants ont jugé probables qu'ils choisissent ce mode de transport. Ce pourcentage est légèrement plus élevé pour les voitures autonomes et se monte à 45,2% des participants. De plus, 61% des participants ont estimé qu'ils étaient plus enclin à choisir un taxi autonome à usage commun, ou une combinaison de navettes autonomes, que de choisir un véhicule automobile privé. Cependant, 39% préférerait toujours l'option d'un véhicule privé ou étaient indécis (*Stoiber et al., 2019*).

Cependant, il est important de ne pas considérer le cas « suisse » comme une généralité. Comparée à d'autres pays, la Suisse est relativement densément peuplée de par sa géographie et dispose d'un système de transports en commun très attrayant, ainsi que des services de covoiturage sur le plan national. Par conséquent, les utilisateurs suisses sont habitués à utiliser différentes options de transports publics et de transports multimodaux, ce qui les rend potentiellement plus réceptifs à des modèles de mobilité innovants.

#### 4.1.1 Coûts

Pour que le modèle MaaS puisse être viable et compétitif, le facteur déterminant est leurs structures de coûts opérationnels. Selon les analyses des coûts de différentes recherches, il est démontré que le transport public (sous sa forme actuelle) ne restera compétitif, économiquement, que si la demande peut être regroupée. Ainsi, cette compétitivité concerne plus particulièrement les zones urbaines denses, où les transports en commun peuvent être proposés à des prix inférieurs à ceux d'autres moyens de locomotion privés.

Une utilisation nettement plus élevée de ce genre de modèle, ainsi que des réductions en termes de coûts variables (salaire des chauffeurs, entretien du véhicule, etc.), permettrait de largement dépasser l'augmentation des coûts fixes liés à la mise en place d'un modèle MaaS. Cette économie des coûts serait globalement liée à la technologie sans conducteur et serait un facteur clef de succès pour réduire les coûts de production de tels parcs de mobilité. Il est supposé que les coûts d'exploitation du partage de trajets ou de partage de véhicules diminueraient de CHF 2,73/km à CHF 0,41/km (*Stoiber et al., 2019*).

De plus, la différence de coût pour les transports en commun, diminuerait de CHF 2,20/km à CHF 0,17/km. Même en termes relatifs, les taxis autonomes coûteraient 71% de plus pour un usage individuel et 21% de plus pour un usage commun, que des transports en commun autonome. Par ailleurs, dans un contexte régional (non urbain), les modèles de mobilité partagée seraient également moins chers que les véhicules privés et la mobilité ferroviaire. Les services de mobilité partagés seraient le mode le moins cher (CHF 0,21/km), suivis des services de taxis individuels (CHF 0,32/km). Cependant, les coûts d'exploitation des transports en commun autonome (bus, trains, etc.) sembleraient ne plus être aussi compétitifs avec respectivement CHF 0,40/km et CHF 0,44/km (*Stoiber et al., 2019*).

A cela s'ajoute l'aspect des subventions gouvernementales pour les transports publics. La situation en Suisse est que le gouvernement subventionne environ 50% des coûts d'exploitation de cette modalité. (*Laesser, Reinhold, 2013*). Partant du principe de l'accessibilité des technologies de conduite autonome, ainsi que des niveaux constants de subventions et de demandes, les opérateurs de mobilité pourraient être en mesure d'offrir des services de transports en commun basés sur des lignes gratuites. Cependant, si cette hypothèse s'avérait viable, il y a fort à parier que les fonds seraient dépensés dans d'autres domaines.

Bien que cette approche basée sur les coûts révèle la faisabilité du principe MaaS, elle comporte également diverses limitations. Premièrement, il est fort probable que la conduite autonome modifie la demande de certains types d'infrastructures, ce qui aurait une incidence sur les prix supposés. Deuxièmement, l'introduction d'une mobilité autonome induirait des changements dans les comportements globaux en matière de déplacement, ce qui forcerait les gouvernements à prendre des mesures afin de diminuer les effets négatifs (exemple : tarification routière).

## 4.2 Le dernier kilomètre

La technologie de conduite autonome crée également une opportunité de marché dans le transport de marchandises. En effet, avec l'essor du e-commerce, la concurrence entre les différents fournisseurs de service de logistique croît suite aux attentes des clients en matière de délais de livraison plus rapides et fiables. A tel point que plus de la moitié des prestataires offre actuellement des options de livraison le jour même ou le lendemain (*Saleh, 2018*). Ainsi, leur défi majeur, est de mettre en place des services innovants de qualité et également, économiquement viable. C'est pourquoi il est fondamental de rationaliser les efforts de livraison afin de minimiser les coûts de transport. Cependant, les faibles volumes de commandes individuelles empêchent les sociétés de fonctionner efficacement. De plus, la majorité de la demande provient de zones densément peuplées, ce qui se traduit par un trafic routier relativement encombré et des places de stationnement peu disponibles. Par conséquent, la logistique urbaine actuelle se base sur deux niveaux. Le premier niveau consiste en des centres de distribution périphériques dans lesquels les transports sont consolidés et le second niveau est le principe « du dernier kilomètre » desservant la clientèle au moyen de camionnettes.

De ce fait, les prestataires de services de logistique tentent actuellement d'adopter de nouvelles technologies afin d'améliorer leurs processus de livraison. Ainsi, les technologies de conduite autonome permettraient de guider efficacement les véhicules de transport et potentiellement transformer le secteur de la logistique (*Masoud, Jayakrishnan, 2017*). Pour les prestataires, les véhicules autonomes ont le potentiel de réduire considérablement les coûts inhérents au transport en réduisant les coûts variables liés aux chauffeurs.

La conversion d'un véhicule conventionnel à un véhicule doté d'une autonomie totale, aurait un coût d'investissement bien inférieur au salaire annuel d'un chauffeur.

En effet, lors de l'arrivée de cette technologie sur le marché, il est estimé que les prix d'achat d'un véhicule autonome devraient être environ USD 10'000 plus élevés que ceux d'un véhicule conventionnel (*Mosquet et al., 2015*). Ainsi, de par la forte utilisation de ces véhicules dans leur flotte, les prestataires de logistique pourraient rapidement adopter cette nouvelle modalité de déplacement (*Mahmassani, 2016*).

Afin de d'intégrer la conduite autonome, les prestataires de services de logistique devront travailler avec les gouvernements locaux. En effet, cette technologie nécessite des investissements onéreux dans la mise en place de l'infrastructure, afin de garantir la sécurité du trafic et également pour gérer les flux de trafic en temps réel. Les véhicules autonomes s'appuient également sur des cartographies 3D complexes afin de permettre le déplacement (*Crosbie, 2017*). Il faut donc considérer une infrastructure hétérogène comprenant des rues dédiées à la conduite autonome. Ainsi, des concepts de zones « autonomes » peuvent être mise en place avec des règles de circulation spécifiques (*Coker, 2018*). Ces zones devront être déterminées en accord avec les autorités de planification et de gestion du trafic dans le cadre stratégique décisionnel à long terme (*Chen et al., 2017*).

### 4.3 Tourisme

Le tourisme semble également constituer à court terme une part du marché clef à la mise en place de modèles autonomes innovants. Le but principal serait de lutter contre les pratiques non durables et réguler la mobilité, avec des itinéraires, des rythmes et des flux de personnes cohérents.

Par exemple, l'aéroport de Heathrow a testé une technologie de « pods à la demande » au Terminal 5. Il est attendu de cette technologie qu'elle puisse réduire le temps de trajet de 27 à 4 minutes tout en permettant d'économiser 50'000 tonnes de carbone en moyenne (*Westfield Technology Group, 2018*). De plus, ces navettes autonomes sont désormais disponibles pour les voyageurs à destination de l'aéroport de Gatwick. Les autorités ont également prévu d'élargir leur utilisation dans un environnement touristique plus vaste, avec des propositions visant à mettre en place des essais de navettes autonomes dans le parc national du Lake District en Angleterre (*Mogg, 2018*).

D'une part, il sera possible de rendre le trajet utile pour les touristes en adaptant les compartiments passagers à des fins de divertissement. Les déplacements peuvent également être utilisés afin d'informer les touristes, au travers de conseils, de publicités ciblées, etc. (*Fagnant, Kockelman, 2015*). D'autre part, avec l'arrivée des véhicules autonomes, la demande en chauffeur sera grandement réduite ce qui peut être une opportunité à une transition professionnelle. L'ancien chauffeur pourrait se convertir en une sorte de steward à bord des navettes autonomes, veillant au bien-être des occupants, augmentant ainsi l'expérience que procurerait le trajet.

Finalement, grâce à la mobilité partagée, il serait possible que les touristes puissent partager le déplacement avec des personnes locales, créant ainsi une interaction nouvelle. Cependant, obliger les utilisateurs de ce genre de service à passer du temps avec des étrangers dans un espace confiné, peut être relativement mal perçu (*Krueger et al., 2016*).

#### **4.4 Mobilité sans déplacement**

Avec l'avènement de nouvelles technologies telles que, la 5G ou le projet Starlink de SpaceX<sup>16</sup>, il est probable qu'une partie de la mobilité soit digitalisée, créant ainsi une mobilité sans déplacement.

Actuellement, nous pouvons observer que les entreprises mettent lentement en place des solutions de télétravail. Ce mode de mobilité virtuelle possède un grand potentiel, grâce à la disponibilité d'accès internet haut débit abordable pour les résidences privées, mais également dans les endroits publics. L'augmentation croissante du télétravail, a le potentiel de radicalement diminuer le trafic routier des pendulaires et pourrait contribuer de manière significative à la réduction de la congestion aux heures de pointe.

---

<sup>16</sup> Projet d'accès global à Internet par satellite reposant sur le déploiement d'une constellation de 12'000 satellites de télécommunication en orbite basse



De plus, avec l'augmentation de la bande passante, il sera possible de pouvoir communiquer au-delà d'un combiné téléphonique comme actuellement lors de conférence call. Microsoft est en train de développer une nouvelle technologie, appelée « Holoportation ».

Le principe se base sur la technologie de virtualité augmentée et permet d'avoir une conversation téléphonique avec une représentation holographique de son interlocuteur et également de son environnement.

Figure 25: Illustration de la technologie Holoportation



(Source : internet)

## 5. Conclusion

La mobilité est un système dynamique en constante évolution. De nombreuses technologies, actuellement en développement, permettront un changement profond de paradigme en termes de déplacement. Le changement s'opérera de manière progressive à travers le type de carburant jusqu'à la manière de piloter un véhicule. Ces derniers deviendront progressivement autonomes et pourront communiquer et coopérer entre eux, et avec l'infrastructure urbaine. L'introduction de véhicules autonomes aura un effet sur trois niveaux.

Le premier aura une incidence sur les facteurs tels que, le coût de la mobilité, la capacité des routes etc. Pour cela, Le futur de cette mobilité dépendra de l'évolution des infrastructures, des prix de l'énergie (électricité et pétrole) et du secteur de l'énergie dans son ensemble.

Le deuxième effet aura un impact sur les décisions en matière de propriété, de partage et d'utilisation du territoire. Ainsi, il sera primordial de mettre en place une politique favorisant la transition vers ce type de mobilité. C'est pourquoi il est important que tous les pays aient une position commune en ce qui concerne les politiques. Cela nécessite une compréhension globale qui ne se concentre pas uniquement sur les problèmes spécifiques à chaque pays, mais également sur un cadre international plus large dans lequel envisager la diffusion de nouveaux moyens de mobilité.

Enfin, le troisième effet aura un impact sur des questions sociétales telles que la consommation d'énergie, l'équité sociale, l'égalité territoriale et le déploiement judicieux, ou inutile, dans les zones rurales. De plus, nous pouvons nous attendre à une remise en question de la possession d'un véhicule si la technologie autonome est globalement acceptée et que des modèles de services de mobilité autonome soient présents.

Toutefois, s'il persiste une préférence pour les véhicules privés cumulé à l'amélioration de la fluidité du trafic, cela entraînerait une augmentation du nombre véhicules sur les routes et ainsi neutraliserait le potentiel de décarbonisation de la future mobilité. Il est donc nécessaire de se concentrer sur les attitudes et les perceptions des consommateurs à l'égard des nouvelles technologies et modalités de transport afin de permettre de transitionner d'une mobilité individuelle privée vers une mobilité partagée et intermodale.

Je pense qu'il est nécessaire de comprendre que le but principal d'une mobilité électrique et/ou autonome n'est pas de remplacer tous les véhicules thermiques actuels, mais de compléter l'offre de mobilité. Il est tout à fait envisageable que les véhicules avec des chauffeurs humains persistent, mais soient utilisés comme moyen de transport principal dans des zones rurales. Le parallèle peut être fait avec le cheval. Il y a 100 ans, ce dernier était le moyen de transport le plus utilisé et il a progressivement été remplacé par les voitures. Cependant, les chevaux existent encore et sont toujours utilisés de nos jours.

Par conséquent, la mobilité de demain n'est pas encore gagnée. Elle dépendra des avancées technologiques, mais également de tout l'environnement qui l'entoure.

## Bibliographie

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE, 2018. IEA CO2 Emissions from Fuel Combustion Statistics. In : [en ligne]. 30 octobre 2018. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : [https://www.oecd-ilibrary.org/fr/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018\\_co2\\_fuel-2018-en](https://www.oecd-ilibrary.org/fr/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2018_co2_fuel-2018-en).

ANDERSON, James, NIDHI, Kalra, STANLEY, Karlyn, SORENSEN, Paul, CONSTANTINE, Samaras et OLUWATOBI, Oluwatola, 2014. Anderson: Autonomous vehicle technology: A guide... - Google Scholar. In : [en ligne]. 10 janvier 2014. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Autonomous%20Vehicle%20Technology%3A%20A%20Guide%20for%20Policymakers&author=J.M.%20Anderson&publication\\_year=2014](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Autonomous%20Vehicle%20Technology%3A%20A%20Guide%20for%20Policymakers&author=J.M.%20Anderson&publication_year=2014).

ANGOT, Laureline, 2015. La mobilité électrique dans les systèmes de transport et de mobilité urbains: constats et perspectives. Comment développer une nouvelle offre de mobilité durable par le biais de l'électromobilité dans la métropole toulousaine? In : . 26 janvier 2015. p. 150.

AVENUE 2020, 2018. AVENUE – EU funded project under Horizon 2020. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 11 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://avenue.unige.ch/>.

AXSEN, Jonn, ORLEBAR, Caroline et SKIPPON, Stephen, 2013. Social influence and consumer preference formation for pro-environmental technology: The case of a U.K. workplace electric-vehicle study. In : *Ecological Economics*. 1 novembre 2013. Vol. 95, p. 96-107. DOI 10.1016/j.ecolecon.2013.08.009.

BANK, The World, 2016. 108141 : *The cost of air pollution : strengthening the economic case for action* [en ligne]. S.I. The World Bank. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/The-cost-of-air-pollution-strengthening-the-economic-case-for-action>.

BARISA, Aiga, ROSA, Marika et KISELE, Agate, 2016. Introducing Electric Mobility in Latvian Municipalities: Results of a Survey. In : *Energy Procedia*. 1 septembre 2016. Vol. 95, p. 50-57. DOI 10.1016/j.egypro.2016.09.015.

BARTH, Markus, JUGERT, Philipp et FRITSCHKE, Immo, 2016. Still underdetected – Social norms and collective efficacy predict the acceptance of electric vehicles in Germany. In : *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 1 février 2016. Vol. 37, p. 64-77. DOI 10.1016/j.trf.2015.11.011.

BATES, John et LEIBLING, David, 2012. Perspectives on parking policy. In : . juillet 2012.

BROWN, Austin, GONDER, Jeffrey et REPAC, Brittany, 2014. An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicles. In : MEYER, Gereon et BEIKER, Sven (éd.), *Road Vehicle Automation* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. Lecture Notes in Mobility. p. 137-153. [Consulté le 8 juillet 2019]. ISBN 978-3-319-05990-7. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7_13).

BUTTON, Kenneth, 2004. 1 - The Rationale for Road Pricing: Standard Theory and Latest Advances. In : *Research in Transportation Economics*. 1 janvier 2004. Vol. 9, p. 3-25. DOI 10.1016/S0739-8859(04)09001-8.

CACCIOTTOLO, M., WANG, X., DRISCOLL, I., WOODWARD, N., SAFFARI, A., REYES, J., SERRE, M. L., VIZUETE, W., SIOUTAS, C., MORGAN, T. E., GATZ, M., CHUI, H. C., SHUMAKER, S. A., RESNICK, S. M., ESPELAND, M. A., FINCH, C. E. et CHEN, J. C., 2017. Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. In : *Translational Psychiatry*. janvier 2017. Vol. 7, n° 1, p. e1022. DOI 10.1038/tp.2016.280.

CARAGLIU, Andrea et DEL BO, Chiara F., 2019. Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. In : *Technological Forecasting and Social Change*. 1 mai 2019. Vol. 142, p. 373-383. DOI 10.1016/j.techfore.2018.07.022.

CARRERAS, Hebe, ZANOBETTI, Antonella et KOUTRAKIS, Petros, 2015. Effect of daily temperature range on respiratory health in Argentina and its modification by impaired socio-economic conditions and PM10 exposures. In : *Environmental Pollution*. 1 novembre 2015. Vol. 206, p. 175-182. DOI 10.1016/j.envpol.2015.06.037.

CCFA, 2018. L'industrie automobile française - analyse statistiques 2018. In : . 2018.

CENTER FOR AUTOMOTIVE RESEARCH, 2016. The Impact of New Mobility Services on the Automotive Industry. In : . août 2016.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2014. Vital Signs: Restraint Use and Motor Vehicle Occupant Death Rates Among Children Aged 0–12 Years — United States, 2002–2011. In : [en ligne]. 7 février 2014. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.cdc.gov/mmWr/preview/mmwrhtml/mm6305a8.htm>.

CHEN, Hong, GOLDBERG, Mark, BURNETT, Richard, JERRETT, Michael, WHEELER, Amanda et VILLENEUVE, Paul, 2013. Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Cardiovascular Mortality. In : *Epidemiology*. 1 janvier 2013. Vol. 24, n° 1, p. 35-43. DOI 10.1097/EDE.0b013e318276c005.

CHEN, Zhibin, HE, Fang, YIN, Yafeng et DU, Yuchuan, 2017. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks. In : *Transportation Research Part B: Methodological*. 1 mai 2017. Vol. 99, p. 44-61. DOI 10.1016/j.trb.2016.12.021.

COKER, Ashley, 2018. Lyft looks to create human, autonomous hybrid network in ride-sharing space. In : *FreightWaves* [en ligne]. 14 juillet 2018. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.freightwaves.com/news/lyft-looks-to-create-human-autonomous-hybrid-network-in-ride-sharing-space>.

COMMISSION EUROPÉENNE, 2010. *A European strategy on clean and energy efficient vehicles*. S.I.

COMMISSION EUROPÉENNE, 2011. *A growth package for integrated European infrastructures*. S.I.

CROSBIE, Jack, 2017. Ford's Self-Driving Cars Will Live Inside Urban « Geofences » ». In : *Inverse* [en ligne]. 13 mars 2017. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.inverse.com/article/28876-ford-self-driving-cars-geofences-ride-sharing>.

DIJK, Marc, ORSATO, Renato J. et KEMP, René, 2013. The emergence of an electric mobility trajectory. In : *Energy Policy*. janvier 2013. Vol. 52, p. 135-145. DOI 10.1016/j.enpol.2012.04.024.

EDF COLLECTIVITÉ, 2016. De la transition énergétiques des territoires. In : . septembre 2016.

EGBUE, Ona et LONG, Suzanna, 2012. Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. In : *Energy Policy*. 1 septembre 2012. Vol. 48, p. 717-729. DOI 10.1016/j.enpol.2012.06.009.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016. Occupancy rates of passenger vehicles. In : *European Environment Agency* [en ligne]. 19 avril 2016. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/occupancy-rates-of-passenger-vehicles/occupancy-rates-of-passenger-vehicles>.

EUROPEAN UNION, 1949. *Convention on road traffic 1949*. S.I.

EUROPEAN UNION, 1968. *Convention on road traffic 1968*. S.I.

FAGNANT, Daniel J. et KOCKELMAN, Kara, 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. In : *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 1 juillet 2015. Vol. 77, p. 167-181. DOI 10.1016/j.tra.2015.04.003.

FAGNANT, Daniel J. et KOCKELMAN, Kara M., 2014. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. In : *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 1 mars 2014. Vol. 40, p. 1-13. DOI 10.1016/j.trc.2013.12.001.

GERSSSEN-GONDELACH, Sarah J. et FAALJ, André P. C., 2012. Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. In : *Journal of Power Sources*. 15 août 2012. Vol. 212, p. 111-129. DOI 10.1016/j.jpowsour.2012.03.085.

GONZALEZ-BARCALA, F. J., PERTEGA, S., GARNELO, L., CASTRO, T. P., SAMPEDRO, M., LASTRES, J. S., SAN JOSE GONZALEZ, M. A., BAMONDE, L., VALDES, L., CARREIRA, J. -M. et SILVARREY, A. L., 2013. Truck traffic related air pollution associated with asthma symptoms in young boys: a cross-sectional study. In : *Public Health*. 1 mars 2013. Vol. 127, n° 3, p. 275-281. DOI 10.1016/j.puhe.2012.12.028.

GRAHAM-ROWE, Ella, GARDNER, Benjamin, ABRAHAM, Charles, SKIPPON, Stephen, DITTMAR, Helga, HUTCHINS, Rebecca et STANNARD, Jenny, 2012. Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. In : *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 1 janvier 2012. Vol. 46, n° 1, p. 140-153. DOI 10.1016/j.tra.2011.09.008.

GUO, Yuming, ZENG, Hongmei, ZHENG, Rongshou, LI, Shanshan, BARNETT, Adrian G., ZHANG, Siwei, ZOU, Xiaonong, HUXLEY, Rachel, CHEN, Wanqing et WILLIAMS, Gail, 2016. The association between lung cancer incidence and ambient air pollution in China: A spatiotemporal analysis. In : *Environmental Research*. 1 janvier 2016. Vol. 144, p. 60-65. DOI 10.1016/j.envres.2015.11.004.

HADDADIAN, Ghazale, KHODAYAR, Mohammad et SHAHIDEHPOUR, Mohammad, 2015. Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers. In : *The Electricity Journal*. 1 décembre 2015. Vol. 28, n° 10, p. 53-68. DOI 10.1016/j.tej.2015.11.011.

HARPER, Corey D., HENDRICKSON, Chris T., MANGONES, Sonia et SAMARAS, Constantine, 2016. Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions. In : *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 1 novembre 2016. Vol. 72, p. 1-9. DOI 10.1016/j.trc.2016.09.003.

HOLMAN, Claire, HARRISON, Roy et QUEROL, Xavier, 2015. Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. In : *Atmospheric Environment*. 1 juin 2015. Vol. 111, p. 161-169. DOI 10.1016/j.atmosenv.2015.04.009.

HOOGMA, R. J. F., KEMP, R. P. M., SCHOT, Johan et TRUFFER, B., 2002. Experimenting for Sustainable Transport. The approach of Strategic Niche Management. In : [en ligne]. 2002. [Consulté le 10 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://research.utwente.nl/en/publications/experimenting-for-sustainable-transport-the-approach-of-strategic>.

ICCT, 2014. EU CO2 emission standards for passenger cars and light-commercial vehicles. In : *COMMERCIAL VEHICLES*. janvier 2014. p. 9.

ICCT, 2017. European Vehicle Market Statistics 2017/2018. In : . 2017. p. 63.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM, 2015. How shared self-driving cars could change city traffic. In : . 2015.

JAENSIRISAK, S, WARDMAN, M et MAY, A D, 2005. Explaining variations in public acceptability of road pricing schemes. In : . 2005. p. 29.

J.D. POWER, 2013. 2013 U.S. Automotive Emerging Technologies Study. In : *J.D. Power* [en ligne]. 25 avril 2013. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.jdpower.com/business/press-releases/2013-us-automotive-emerging-technologies-study>.

KANNAN, Ramachandran et HIRSCHBERG, Stefan, 2016. Interplay between electricity and transport sectors – Integrating the Swiss car fleet and electricity system. In : *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 1 décembre 2016. Vol. 94, p. 514-531. DOI 10.1016/j.tra.2016.10.007.

KITCHIN, Rob, 2014. The Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism. In : . S.l. : s.n. 2014.

KRUEGER, Rico, RASHIDI, Taha H. et ROSE, John M., 2016. Preferences for shared autonomous vehicles. In : *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 1 août 2016. Vol. 69, p. 343-355. DOI 10.1016/j.trc.2016.06.015.

KYRIAKIDIS, M., HAPPEE, R. et DE WINTER, J. C. F., 2015. Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents. In : *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 1 juillet 2015. Vol. 32, p. 127-140. DOI 10.1016/j.trf.2015.04.014.

LAESSER, Christian et REINHOLD, Stephan, 2013. Finanzierung des OeV in der Schweiz: Was zahlt der Nutzer, was die Allgemeinheit? In : . novembre 2013. p. 51.



LALLEMAND, Carine, GRONIER, Guillaume et ROBILLARD-BASTIEN, Alain, 2016. *Méthodes de design UX: 30 méthodes fondamentales pour concevoir et évaluer les systèmes interactifs*. S.l. : s.n. ISBN 978-2-212-14143-6.

LI, Zheng et HENSHER, David A., 2012. Congestion charging and car use: A review of stated preference and opinion studies and market monitoring evidence. In : *Transport Policy*. 1 mars 2012. Vol. 20, p. 47-61. DOI 10.1016/j.tranpol.2011.12.004.

MACY, Michelle L., CLARK, Sarah J., FREED, Gary L., BUTCHART, Amy T., SINGER, Dianne C., SASSON, Comilla, MEURER, William J. et DAVIS, Matthew M., 2012. Carpooling and Booster Seats: A National Survey of Parents. In : *Pediatrics*. 1 février 2012. Vol. 129, n° 2, p. 290-298. DOI 10.1542/peds.2011-0575.

MAHLKE, Sascha, 2008. User experience of interaction with technical... - Google Scholar. In : [en ligne]. 4 mars 2008. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=User%20Experience%20of%20Interaction%20with%20Technical%20Systems&author=S.%20Mahlke&publication\\_year=2008](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=User%20Experience%20of%20Interaction%20with%20Technical%20Systems&author=S.%20Mahlke&publication_year=2008)

MAHMASSANI, Hani S., 2016. 50th Anniversary Invited Article—Autonomous Vehicles and Connected Vehicle Systems: Flow and Operations Considerations. In : *Transportation Science*. 21 octobre 2016. Vol. 50, n° 4, p. 1140-1162. DOI 10.1287/trsc.2016.0712.

MARLETTO, Gerardo, 2014. Car and the city: Socio-technical transition pathways to 2030. In : *Technological Forecasting and Social Change*. 1 septembre 2014. Vol. 87, p. 164-178. DOI 10.1016/j.techfore.2013.12.013.

MASOUD, Neda et JAYAKRISHNAN, R., 2017. Autonomous or driver-less vehicles: Implementation strategies and operational concerns. In : *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 1 décembre 2017. Vol. 108, p. 179-194. DOI 10.1016/j.tre.2017.10.011.

MIDLER, Christophe et VON PECHMANN, Felix, 2015. Du véhicule électrique à l'électromobilité. In : *Le journal de l'école de Paris du management*. 1 janvier 2015. Vol. 114, p. 8. DOI 10.3917/jepam.114.0008.

MOGG, Trevor, 2018. Driverless Pods May Be Used to Ferry Tourists Around U.K. National Park. In : *Digital Trends* [en ligne]. 13 mai 2018. [Consulté le 10 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/driverless-pods-lake-district/>.

MOSQUET, Xavier, DAUNER, Thomas, LANG, Nikolaus, RÜSSMANN, Michael, MEI-POCHTLER, Antonella, AGRAWAL, Rakshita et SCHMIEG, Florian, 2015. Revolution in the Driver's Seat: The Road to Autonomous Vehicles. In : <https://www.bcg.com> [en ligne]. 21 avril 2015. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.bcg.com/publications/2015/automotive-consumer-insight-revolution-drivers-seat-road-autonomous-vehicles.aspx>.

MOUNCE, Richard et NELSON, John D., 2019. On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems. In : *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. février 2019. Vol. 120, p. 17-30. DOI 10.1016/j.tra.2018.12.003.

NORDHOFF, Sina, VAN AREM, Bart et HAPPEE, Riender, 2016. Conceptual Model to Explain, Predict, and Improve User Acceptance of Driverless Podlike Vehicles. In : *Transportation Research Record*. 1 janvier 2016. Vol. 2602, n° 1, p. 60-67. DOI 10.3141/2602-08.

ÖKO-INSTITUT, 2012. Are Electric Vehicles the Mode of the Future? Potentials and Environmental Impacts. In : [en ligne]. 2012. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.oeko.de/en/publications/p-details/show/Publication/>.

OLTRA, Vanessa et SAINT JEAN, Maïder, 2006. Variety of Technological Trajectories in Low Emission Vehicles (LEVs): A Patent Data Analysis. In : *Journal of Cleaner Production*. 1 février 2006. Vol. 17. DOI 10.1016/j.jclepro.2008.04.023.

PHD, Keith Dear, PHD, Geetha Ranmuthugala, PHD, Tord Kjellström, CAROL SKINNER BSC, DipMet et BA (HONS), Ivan Hanigan, 2005. Effects of Temperature and Ozone on Daily Mortality During the August 2003 Heat Wave in France. In : *Archives of Environmental & Occupational Health*. 1 juillet 2005. Vol. 60, n° 4, p. 205-212. DOI 10.3200/AEOH.60.4.205-212.

PICKRELL, Timothy M., 2014. Occupant Restraint Use in 2012: Results From the National Occupant Protection Use Survey Controlled Intersection Study. In : [en ligne]. janvier 2014. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://trid.trb.org/view/1290395>.

QUAK, Hans, NESTEROVA, Nina et VAN ROOIJEN, Tariq, 2016. Possibilities and Barriers for Using Electric-powered Vehicles in City Logistics Practice. In : *Transportation Research Procedia*. 1 janvier 2016. Vol. 12, p. 157-169. DOI 10.1016/j.trpro.2016.02.055.

RAHMAN, Imran, VASANT, Pandian M., SINGH, Balbir Singh Mahinder, ABDULLAH-AL-WADUD, M. et ADNAN, Nadia, 2016. Review of recent trends in optimization techniques for plug-in hybrid, and electric vehicle charging infrastructures. In : *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 1 mai 2016. Vol. 58, p. 1039-1047. DOI 10.1016/j.rser.2015.12.353.

RAUBAL, M., JONIETZ, D., CIARI, F., BOULOUCOS, K., KÜNG, L. et GEORGES, G., 2017. Towards An Energy Efficient Swiss Transportation System. In : . 9 mai 2017.

RAUX, Charles, SOUCHE, Stéphanie et PONS, Damien, 2012. The efficiency of congestion charging: Some lessons from cost-benefit analyses. In : *Research in Transportation Economics*. 1 septembre 2012. Vol. 36, n° 1, p. 85-92. DOI 10.1016/j.retrec.2012.03.006.

REQUIA, Weeberb J., MOHAMED, Moataz, HIGGINS, Christopher D., ARAIN, Altaf et FERGUSON, Mark, 2018. How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. In : *Atmospheric Environment*. juillet 2018. Vol. 185, p. 64-77. DOI 10.1016/j.atmosenv.2018.04.040.

ROSE, Geoff, 2006. Mobile Phones as Traffic Probes: Practices, Prospects and Issues. In : *Transport Reviews*. 1 mai 2006. Vol. 26, n° 3, p. 275-291. DOI 10.1080/01441640500361108.

SADEGHIAN, Shadi, 2015. Développer la mobilité électrique: des projets d'acteurs au projet de territoire. In : . 11 mars 2015. p. 447.

SALEH, Khalid, 2018. The Importance of Same Day Delivery – Statistics and Trends. In : *The Invesp Blog: Conversion Rate Optimization Blog* [en ligne]. 29 janvier 2018. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.invespcro.com/blog/same-day-delivery/>.

SAUBER-SCHATZ, Erin, WEST, Bethany et BERGEN, Gwen, 2014. Vital Signs: Restraint Use and Motor Vehicle Occupant Death Rates Among Children Aged 0–12 Years — United States, 2002–2011. In : [en ligne]. 4 février 2014. [Consulté le 10 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.cdc.gov/mmWrr/preview/mmwrhtml/mm6305a8.htm>.

SAUER, Ildo L., ESCOBAR, Javier F., DA SILVA, Mauro F.P., MEZA, Carlos G., CENTURION, Carlos et GOLDEMBERG, José, 2015. Bolivia and Paraguay: A beacon for sustainable electric mobility? In : *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. novembre 2015. Vol. 51, p. 910-925. DOI 10.1016/j.rser.2015.06.038.

SCHMALFUß, Franziska, MÜHL, Kristin et KREMS, Josef F., 2017. Direct experience with battery electric vehicles (BEVs) matters when evaluating vehicle attributes, attitude and purchase intention. In : *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 1 avril 2017. Vol. 46, p. 47-69. DOI 10.1016/j.trf.2017.01.004.

SCHUITEMA, Geertje, ANABLE, Jillian, SKIPPON, Stephen et KINNEAR, Neale, 2013. The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. In : *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 1 février 2013. Vol. 48, p. 39-49. DOI 10.1016/j.tra.2012.10.004.

SHAO, Jing, TAISCH, Marco et ORTEGA-MIER, Miguel, 2016. A grey-DEcision-MAking Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) analysis on the barriers between environmentally friendly products and consumers: practitioners' viewpoints on the European automobile industry. In : *Journal of Cleaner Production*. 20 janvier 2016. Vol. 112, p. 3185-3194. DOI 10.1016/j.jclepro.2015.10.113.

SHIFT AUTOMOTIVE FORUM, 2019. SHIFT Automotive | Geneva International Motor Show. In : [en ligne]. 2019. [Consulté le 11 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.gims.swiss/shift-automotive>.

SHUTTLEWORTH, Jennifer, 2019. SAE J3016 automated-driving graphic. In : [en ligne]. 7 janvier 2019. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>.

SIERZCHULA, William, BAKKER, Sjoerd, MAAT, Kees et VAN WEE, Bert, 2014. The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. In : *Energy Policy*. 1 mai 2014. Vol. 68, p. 183-194. DOI 10.1016/j.enpol.2014.01.043.

SPARROW, Robert et HOWARD, Mark, 2017. When human beings are like drunk robots: Driverless vehicles, ethics, and the future of transport. In : *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 1 juillet 2017. Vol. 80, p. 206-215. DOI 10.1016/j.trc.2017.04.014.

SPIESER, Kevin, TRELEAVEN, Kyle, ZHANG, Rick, FRAZZOLI, Emilio, MORTON, Daniel et PAVONE, Marco, 2014. Toward a Systematic Approach to the Design and Evaluation of Automated Mobility-on-Demand Systems: A Case Study in Singapore. In : MEYER, Gereon et BEIKER, Sven (éd.), *Road Vehicle Automation* [en ligne]. Cham : Springer International Publishing. Lecture Notes in Mobility. p. 229-245. [Consulté le 8 juillet 2019]. ISBN 978-3-319-05990-7. Disponible à l'adresse : [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7_20).

STOIBER, Thomas, SCHUBERT, Iljana, HOERLER, Raphael et BURGER, Paul, 2019. Will consumers prefer shared and pooled-use autonomous vehicles? A stated choice experiment with Swiss households. In : *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. juin 2019. Vol. 71, p. 265-282. DOI 10.1016/j.trd.2018.12.019.

TNS SOFRES, 2014. Baromètre « Les Français & l'automobile » - Vague 5. In : . 26 mai 2014. p. 40.

UNION OF CONCERNED SCIENTISTS, 2017. Accelerating US Leadership in Electric Vehicles. In : . août 2017.

WADUD, Zia, MACKENZIE, Don et LEIBY, Paul, 2016. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. In : *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 1 avril 2016. Vol. 86, p. 1-18. DOI 10.1016/j.tra.2015.12.001.

WEBER, Karl Matthias, 1999. *Experimenting with sustainable transport innovations: a workbook for strategic niche management*. Seville : Inst. for Prospective Technological Studies. ISBN 978-90-365-1275-6.

WEICHENTHAL, Scott, HATZOPOULOU, Marianne et GOLDBERG, Mark S., 2014. Exposure to traffic-related air pollution during physical activity and acute changes in blood pressure, autonomic and micro-vascular function in women: a cross-over study. In : *Particle and Fibre Toxicology*. 9 décembre 2014. Vol. 11, n° 1, p. 70. DOI 10.1186/s12989-014-0070-4.

WESTFIELD TECHNOLOGY GROUP, 2018. Autonomous Vehicles. In : *Westfield Autonomous Vehicles* [en ligne]. 2018. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <https://westfieldavs.com/>.

WINSLOW, Kevin M., LAUX, Steven J. et TOWNSEND, Timothy G., 2018. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. In : *Resources, Conservation and Recycling*. 1 février 2018. Vol. 129, p. 263-277. DOI 10.1016/j.resconrec.2017.11.001.

YANG, Hai et WANG, Xiaolei, 2011. Managing network mobility with tradable credits. In : *Transportation Research Part B: Methodological*. 1 mars 2011. Vol. 45, n° 3, p. 580-594. DOI 10.1016/j.trb.2010.10.002.

ZHANG, Rick, SPIESER, Kevin, FRAZZOLI, Emilio et PAVONE, Marco, 2015. Models, algorithms, and evaluation for autonomous mobility-on-demand systems. In : *2015 American Control Conference (ACC)* [en ligne]. Chicago, IL, USA : IEEE. juillet 2015. p. 2573-2587. [Consulté le 8 juillet 2019]. Disponible à l'adresse : <http://ieeexplore.ieee.org/document/7171122/>.

ZHANG, Wenwen, GUHATHAKURTA, Subhrajit, FANG, Jinqi et ZHANG, Ge, 2015. Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. In : *Sustainable Cities and Society*. 1 décembre 2015. Vol. 19, p. 34-45. DOI 10.1016/j.scs.2015.07.006.

# Annexe 1 : Modèle C-K

